

Einfluß des Zeitfaktors auf ST-Senkungen bei Koronarinsuffizienz

Vergleichende Untersuchungen durch ergometrische
Elektrokardiographie *)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Medizinischen Doktorwürde
an der ehemaligen Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Joachim Zerdick
aus Marienburg

1970

*) Mit Förderung durch das Kuratorium
für sportmedizinische Forschung



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Einfluß des Zeitfaktors auf ST-Senkungen bei Koronarinsuffizienz

Vergleichende Untersuchungen durch ergometrische
Elektrokardiographie *)

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Medizinischen Doktorwürde
an der ehemaligen Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Joachim Zerdick
aus Marienburg

*) Mit Förderung durch das Kuratorium
für sportmedizinische Forschung

Ehem. Dekan: Professor Dr.med. Herbert Lax

Referent: Professor Dr.med. Harald Mellerowicz

Korreferent: Professor Dr.med. Rolf Schröder



Gedruckt mit Genehmigung der ehem. Medizinischen
Fakultät der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 16. 11. 1970

1. Einleitung
2. Methodik
 - 2.1. Untersuchungsgut
 - 2.2. Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen
 - 2.3. Untersuchungsgeräte
 - 2.4. Beurteilung der ST-Strecke
 - 2.5. Statistische Methodik
3. Fehlerquellen und Kritik der Methodik
 - 3.1. Kritik am Untersuchungsgut
 - 3.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen
 - 3.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten
 - 3.4. Kritik zur Beurteilung der ST-Strecke
4. Untersuchungsergebnisse und vergleichende Darstellung der Untersuchungsergebnisse
5. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Literatur

1. Einleitung

Die ständige Zunahme der degenerativen Herz- und Kreislaufferkrankungen ist eines der wichtigsten Probleme der präventiven Cardiologie. So berichten HECHTER und BORHANI (zit. nach 64) von einer Zunahme der Mortalität von 12 % an arteriosklerotischen Herzerkrankungen bei Männern in dem Beobachtungszeitraum von 1950 bis 1960. Nur durch eine möglichst frühzeitige Diagnose lassen sich Morbiditäts- und Mortalitätsraten der Koronarerkrankungen senken.

In den meisten Fällen ist zur rechtzeitigen Erkennung einer latenten Koronarinsuffizienz das Leistungs-Elektrokardiogramm von entscheidender Bedeutung. Das EKG sollte jedoch während der Leistung geschrieben werden, da nach ABARQUEZ u. Mitarb. (1), BELLET u. Mitarb. (10, 11), FLEISCH (45, 46) und ROSKAMM, REINDELL u. Mitarb. (131) die durch Leistung verursachten hypoxischen ST-Senkungen schon wenige Sekunden nach Abbruch der Arbeit verschwunden sein können.

Zahlreiche Autoren benutzen zur Leistung den Master-Two-Step, den Master-Double-Step-Test, Tretmühlen, genormte Körperbewegungen oder Kletterstufen (3, 5, 11, 13, 14, 15, 18, 21, 22, 27, 37, 48, 76, 77, 95, 102, 129, 150, 169). In den letzten Jahren bevorzugen immer mehr Untersucher das Ergometer, weil es eine Messung der körperlichen Leistung in Watt bzw. mkp/sec ermöglicht (6, 7, 10, 35, 45, 47, 61, 74, 83, 85, 86, 87, 88, 107, 108, 109, 110, 112, 119, 130, 131, 132, 133, 158, 167). Form und Durchführung der Leistung, besonders Leistungsdauer und Leistungsstufen werden von den einzelnen Autoren recht unterschiedlich gehandhabt.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Auftreten von ST-Senkungen bei gleichen Leistungsstufen, aber verschiedener Leistungsdauer, vergleichend zu untersuchen. Mit der vorliegenden Untersuchung soll ein Beitrag zur dringend erforderlichen Standardisierung der Leistungs-Elektrokardiographie erarbeitet werden, um eine exakte Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

2. Methodik

2.1. Untersuchungsgut

Es wurden zwölf männliche Patienten untersucht. Die Patienten stammten aus dem Untersuchungsgut, das einer präventiv-cardiologischen Analyse der Risikofaktoren nach MELLEROWICZ und BARON (110) unterzogen wurde.

Patienten-Name, Alter, Blutdruck, Häufigkeit und Dauer ihrer stenocardischen Anfälle und Reihenfolge der Leistungs-Elektrokardiogramme (Leistungs-EKG) sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

2.2. Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen

2.2.1. Nach einer gründlichen Untersuchung und Erhebung einer genauen Herzanamnese (110) wurde zunächst ein Ruhe-EKG mit 15 Ableitungen (Extremitäten-Abl. I, II, III, Goldberger-Abl. aVR, aVL, aVF, Brustwandableitungen $V_1 - V_6$ und Nehb D, A, I) geschrieben.

2.2.2. Wies das Ruhe-EKG keine pathologischen Veränderungen auf, wurde der Patient mit zunächst 30 Watt belastet und dann entsprechend Versuchs-Reihenfolge mit System A, B oder C weiterbelastet.

2.2.3. System A:

Leistungsbeginn 30 Watt, eine Minute lang,
Steigerung pro Minute um 10 Watt.

System B:

Leistungsbeginn 30 Watt, zwei Minuten lang,
Steigerung alle zwei Minuten um 10 Watt.

System C:

Leistungsbeginn 30 Watt, drei Minuten lang,
Steigerung alle drei Minuten um 10 Watt.

Pat.	Name	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Größe (cm)	Ruhe-Blutdruck (mm Hg)	Angina-pectoris-Anfälle Häufigkeit	Dauer Reihenfolge	System-
1	G.O.	52	74	165	130/85	XX	XX	A B C
2	R.R.	58	77	178	125/85	X	X	A B C
3	K.P.	59	70	170	120/80	XX	XXX	B A C
4	W.G.	58	62	162	120/70	XX	XXX	B A C
5	E.E.	54	75	171	145/90	X	X	C A B
6	G.A.	61	72	173	150/90	X	X	C A B
7	H.G.	55	83	173	125/90	X	X	A C B
8	K.T.	55	66	164	175/110	X	X	A C B
9	A.M.	46	78	169	110/75	X	X	B C A
10	W.F.	56	106	183	145/100	XX	X	B C A
11	K.B.	55	65	165	150/85	XX	X	C B A
12	F.J.	63	80	170	140/80	XX	XX	C B A

Erläuterung:

Häufigkeit der Anfälle: X = monatliches Auftreten
 XX = wöchentliches Auftreten
 XXX = tägliches Auftreten
 Dauer der Anfälle: X = Sekunden
 XX = Minuten
 XXX = Stunden

- 2.2.4. Das Leistungs-EKG wurde in der 50. bis 59. Sekunde jeder Leistungsminute mit den 6 Ableitungen V_4 , V_5 , V_6 , D, A, I geschrieben.
- 2.2.5. Die Leistung wurde abgebrochen, wenn in einer Ableitung eine ST-Senkung von mindestens 0,1 mV auftrat oder der Patient pectanginöse Beschwerden angab.
- 2.2.6. Nach Leistungs-Abbruch wurde von der 1. bis 30. sec ein Erholungs-EKG mit den Ableitungen wie bei der Leistung geschrieben. In Abständen von 30 Sekunden wurde drei Minuten nach Leistungs-Abbruch je 10 sec lang ein EKG aufgezeichnet.
- 2.2.7. Die Untersuchungsbedingungen wurden entsprechend den standardisierten Leistungsumsatzbedingungen (104, 105) eingehalten. Kein Patient hatte herzwirksame Medikamente, insbesondere Digitalis, eingenommen.
- 2.2.8. Das zweite Leistungs-EKG ist am 3.-6. Tag, das dritte Leistungs-EKG am 6.-12. Tag nach der ersten Leistung registriert worden. Die Reihenfolge der Systeme A, B, C wurde systematisch entsprechend Tabelle 1 gewechselt.

2.3. Untersuchungsgeräte

- 2.3.1. Die ergometrische Fußkurbelarbeit im Liegen wurde am Lauckner-Ergometer Typ L 3 der Fa. Richard Lauckner Berlin-Mariendorf, ausgeführt. Die Leistungen von 30 bis 120 Watt wurden auf Stufe I (35 U/min bei 50 Watt) geleistet.

- 2.3.2. Für die Extremitäten-Ableitungen wurden Platten-Elektroden benutzt. Die Elektroden für die unteren Extremitäten wurden in der Leistengegend angebracht. Für die Brustwand- und Nehb'schen Ableitungen wurden Saugelektroden unter Benutzung von Elektrodencreme (Fa. Hellige) verwendet.
- 2.3.3. Als EKG-Gerät diente der 6-Kanal-Düsen-Direkt-Schreiber Siemens-Cardirex der Fa. Siemens, Berlin. Die Papiergeschwindigkeit betrug 50 mm/sec. Nur die ersten 30 sec nach Leistungs-Abbruch wurden mit 25 mm/sec geschrieben.
- 2.3.4. Die Einhaltung der bestimmten Soll-Leistung konnte auf der Wattskala des Ergometers kontrolliert werden. Eine größere, gut sichtbare Stoppuhr diente der genauen Einhaltung der Leistungs- und Schreibzeiten.
- 2.3.5. Die Versuchsanordnung zeigt Abb. 1.

2.4. Beurteilung der ST-Strecken

- 2.4.1. Als hypoxische ST-Senkung wurde in Übereinstimmung mit anderen Autoren (12, 14, 47, 123) eine Senkung von mind. 0,1 mV mit horizontalem, abwärts gerichtetem (=descendierend, downsloping) oder muldenförmigem (=sagging) Verlauf angesehen.
- 2.4.2. Die Messung erfolgte von der isoelektrischen Linie aus. Dabei wurde die PQ-Strecke durch QRS fortgesetzt (7, 40, 77, 90, 112, 131, 153, 158).
- 2.4.3. Eine Gegenüberstellung von nicht hypoxischen und hypoxischen ST-Senkungen zeigt Abb. 2. Gleiche Veränderungen der ST-Strecke können jedoch durch verschiedene andere ätiologische Faktoren bedingt werden (vgl. 3.4.4.).



ST-Senkungen vom tachycarden Typ

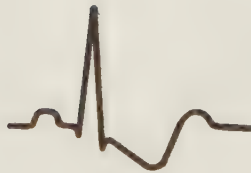


ascendierend,
junctional

ST-Senkungen vom hypoxischen Typ



horizontal



descendierend,
down-sloping



muldenförmig,
sagging,
konkav

2.5. Statistische Methodik

Der statistischen Berechnung lagen die Formeln nach ADAM (172) zu Grunde.

2.5.1. Stichprobenmittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2.5.2. Stichprobenvarianz:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

2.5.3. Varianz des Mittelwertes:

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{s^2}{n}$$

2.5.4. Mittelwertsvergleich bei gleich großen Stichproben:

$$\hat{t} = \frac{|\bar{x}' - \bar{x}''|}{\sqrt{\frac{s_a^2}{n} + \frac{s_b^2}{n}}} \cdot \sqrt{n}$$

2.5.5. Prüfen von Mittelwerten korrelierender Stichproben:

$$\hat{t} = \frac{|\bar{d}| \cdot \sqrt{n-1}}{\sqrt{\sum d_i^2 - n \bar{d}^2}}$$

2.5.6. Korrelationskoeffizient:

$$r = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - n \bar{x}^2) (\sum y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

2.5.7. Der Freiheitsgrad beträgt hier

$$f = n - 1$$

Der p-Wert wurde aus den wissenschaftlichen Tabellen, Documenta Geigy, abgelesen. Die Differenz zweier Versuchsreihen wird bei folgenden Werten als

$p > 0,05$	nicht signifikant
$p < 0,05$	wahrscheinlich signifikant
$p < 0,01$	signifikant
$p < 0,001$	hochsignifikant

eingestuft.

Eine Korrelation gilt als eng, wenn der Korrelationskoeffizient (r) einen absoluten Wert zwischen 0,7 und 1 erreicht.

3. Fehlerquellen und Kritik der Methodik

3.1. Kritik am Untersuchungsgut

- 3.1.1. Die Zahl von 12 Patienten für die vergleichende Darstellung von drei unterschiedlichen Leistungssystemen ist klein, Da jedoch auf eine ausführliche Darstellung der Leistungs-EKG's nicht verzichtet werden konnte, hätte eine größere Patientenzahl den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.
- 3.1.2. Die interindividuelle Variabilität ist nach LEPESCHKIN (93) die Meßgrößenschwankung, die bei verschiedenen Individuen auftritt, die unter gleichen äußeren Bedingungen untersucht worden sind. Dazu gehören vornehmlich Unterschiede im Geschlecht, Alter und Körperbau. Um die interindividuelle Variabilität möglichst gering zu halten, wurden nur männliche Personen im Alter von 46 bis 63 Jahren herangezogen. Da die anamnestischen Symptome und die EKG-Veränderungen bei Männern spezifischer sein sollen als bei Frauen (19), hätte eine Zulassung von weiblichen Patienten die Fehlermöglichkeit erhöht.
- 3.1.3. Die intraindividuelle Variabilität betrifft das gleiche Individuum und ist auf physiologische Änderungen seiner äußeren und inneren Bedingungen zurückzuführen (93). Diese galt es, bei allen drei Leistungs-EKG's möglichst auszuschalten. So wurden Körperlage, letzte Nahrungsaufnahme, psychische Einflüsse (144), Tageszeit der Untersuchung (17, 17o) und andere Leistungsbedingungen (vgl. 3.2.5.) weitestgehend konstant gehalten.

3.1.4. Um eine Gewöhnung an die Ergometer-Untersuchung möglichst zu vermeiden, wie sie von McALPIN und KATTUS (99) beobachtet wurde, lagen zwischen den Wiederholungen jeweils 3 bis 6 Tage. Daneben wurden je zwei Patienten mit den 6 möglichen Reihenfolge-Variationen der drei Systeme belastet, so daß auch in dieser Hinsicht der Gesamtfehler nicht erheblich werden kann.

Auch JUNGSMANN und KNOOP (73) sprechen von einer außerordentlich kleinen Gewöhnung bei einer derartig seltenen und geringen Leistung.

3.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen

3.2.1. Die Patienten litten alle an einer Angina-pectoris-simplex bzw. an einer latenten Koronarinsuffizienz. Die Bedeutung der Anamnese wurde berücksichtigt (4, 113, 146); alle Patienten hatten gelegentlich stenocardische Anfälle.

3.2.2. Alle Patienten hatten ein normales Ruhe-EKG. Da das Auftreten von ST-Senkungen während der Leistung als Indikator für die Austestung der Leistungs-EKG's diente, mußte auf Patienten mit einer schwereren Angina-pectoris mit verändertem Ruhe-EKG verzichtet werden. Damit schränkte sich der Auswahl-Bereich erheblich ein, da BLOCK u. Mitarb. (zit. nach HOLZMANN, 72) nur bei 24 % der typischen Angina-pectoris-Kranken ein normales Ruhe-EKG beobachtet haben. Dagegen berichten MASTER (101) von 50 %, CHAPELLE (34) von 58 %, WOOD (zit. nach 101) von 70 % und DOYLE u. ALBANY (zit. nach 101) von 84 % normalen Ruhe-EKG's.

- 3.2.3. Die Leistungsform auf Fußkurbel (=bicycle)-Ergometern kann sehr variabel gestaltet und ganz auf den speziellen Patienten eingestellt werden. Eine kurze Übersicht über die Leistungsmodi auf Fußkurbelergometern bei Herz-Patienten zeigt Tabelle 2.

System A dieser Arbeit entspricht der bei MELLEROWICZ und BARON (110) angegebenen Leistungsart.

System C kommt denen von KALTENBACH u. Mitarb. (74) und ROSKAMM u. Mitarb. (131, 132) annähernd gleich.

System B ist die logische Mittelstellung zwischen A und C.

- 3.2.4. Die Ableitungen während des Leistungs-EKG's sind ebenfalls sehr verschieden. Die Wahl der Ableitungen bei den zahlreichen Autoren zeigt Tabelle 3. Auf die Wichtigkeit der links-präcordialen Ableitungen wird von etlichen Autoren hingewiesen. Von einer Häufung von ST-Senkungen in den Ableitungen $V_4 - V_6$ berichten RUMBALL u. Mitarb. (136), KALTENBACH u. Mitarb. (74), BLACKBURN u. Mitarb. (20), GAZES u. Mitarb. (53), KAST u. Mitarb. (78), so daß u.E. auf diese Ableitungen der Schwerpunkt gelegt werden mußte. Da FLEISCH (45) von einer sehr schlechten Auswertbarkeit der Extremitäten-Abl. II und III berichtet, andere Autoren aber auf den Vorzug der Nehb'schen Ableitungen bei Linksherzprozessen hinwiesen (117, 60, 55, 122, 91, 143), bot sich ein Mitschreiben der Abl. D,A,I neben den Abl. $V_4 - V_6$ an. BUTSCHENKO (32) benutzte sogar als Einzelableitung während der Leistung eine Nehb A entsprechende Ableitung.

JUNGSMANN und KNOOP (73) schreiben nur die Nehb'schen Ableitungen. MELLEROWICZ und BARON (110) benutzen schon seit zwei Jahren die in dieser Arbeit gewählte Ableitungs-Kombination $V_4 - V_6$, D, A, I während der Leistung.

Autoren		Leistungsstufen	Dauer pro Stufe
Klepzig u.M.	1956	15 - 50 Watt	3 min
Fleisch	1962	30 - 150 Watt	3 min
Kaltenbach u.M.	1963	25, 50, 75, 100 Watt	6 min
Roskamm u.M.	1963	25, 50, 75, 100 Watt	6 min
Rosenkranz u.M.	1964	30, 60, 90, 120 Watt	1 min
Folli u.M.	1965	50 - 90 Watt	1,5 oder 3 min
Heinecker	1965	50 Watt	3 min
Kopp u.M.	1966	40 Watt	6 min
Smith u.M.	1966	150 Watt	2 min
Mellerowicz	1967	30, 40, 50, 60, 70 usw.	1 min
Westermann	1968	60 Watt	9 min

Tabelle 2 Leistungsmodi auf Fußkurbel (=bicycle)-Ergometern bei Herz-Patienten

Autoren	Leistungs-Art	I	II	III	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	NEHB	alii
Klezig u.M.	FE	x	x	x								
Abarquez u.M.	MS						x		x			x
Bellet u.M.	FE								x			
Fleisch	FE	x					x			x		
Kaltenbach u.M.	FE	x	x	x		x	x			x		
Roskamm u.M.	FE	x	x	x		x				x		
Roskamm u.M.	FE	x	x	x			x	x	x			
Strandell	FE					x	x	x				
Abarquez u.M.	MS						x		x			
Bellet u.M.	MS		x					x		x		
Nordström-Ö-	FE	x	x	x	x	x	x	x	x			x
Rosenkranz u.M.	FE				x		x		x	x		
Bellet u.M.	MS		x					x		x		
Butschenko	FE										x	
Clasing u.M.	FE					x		x		x		
Folli u.M.	FE						x			x		x
Heinecker	FE	x	x	x			x	x	x	x		
Sheffield u.M.	MS					x		x	x	x		
Bellet u.M.	MS		x				x		x	x		
Berkson u.M.	TM							x				x

Autoren	Leistungs-Art	I	II	III	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	NEHB	alii
Blackburn u.M.	1966											
Jungmann u.M.	1966											x
Kast u.M.	1966	x	x	x		x	x	x			x	
Roskamm u.M.	1966	x	x	x		x				x		
Sheffield u.M.	1966				x							
Areskog u.M.	1967				x	x		x	x			x
Ballet u.M.	1967		x									
Butschenko	1967	x	x	x	x	x	x	x				
Mellerowicz u.M.	1967									x	x	
Moll u.M.	1967	x	x	x				x	x	x		
Roskamm u.M.	1967	x	x			x		x	x	x		
Schweizer u.M.	1967	x	x	x		x		x	x			
Westermann	1968								x	x		

FE = Fußkurbel (=bicycle)-Ergometer-Test

MS = Master-Step-Test

TM = Treitmühlen-Test

LB = Laufband-Test

KS = Kletterstufen-Test

Tabelle 3 Ableitungen während des Leistungs-Elektrokardiogramms

3.2.5. Die Ernährung und körperliche Beanspruchung des Patienten vor den Untersuchungstagen wurden weitestgehend konstant gehalten. Die Patienten ruhten vor Beginn jeder Untersuchung mindestens 10 Minuten. Die Raumtemperaturen schwankten zwischen 19° und 23° C. Die relative Luftfeuchtigkeit überschritt nicht 60 %. Die Tageszeiten der Wiederholungs-Leistungen entsprachen im allgemeinen denen der ersten Leistung. Die Patienten nahmen keine herzwirksamen Medikamente. Kaffee-, Tee- oder Nikotingenuß war am Untersuchungstag nur in sehr geringem Maß gestattet.

Alle oben genannten Faktoren, die das Leistungs-EKG beeinflussen konnten, wurden also so weit wie möglich in tolerierbaren Grenzen gehalten, so daß ein erheblicher Fehler von dieser Seite auf die Leistungs-EKG's nicht zu erwarten war.

3.2.6. SPECKMANN u. Mitarb. (157) weisen darauf hin, daß eine Methode allein zur Frühdiagnose der Angina-pectoris sicher nicht ausreichend ist und fordern daher möglichst eine Kombination von Untersuchungsmethoden. Sie führen bei ihren Patienten Ruhe-EKG, den Master-Test, Sauerstoffmangel-Atmungstest, Leistungs-EKG mit dem Fahrradergometer, Kniebeugenbelastung, Bestimmung des Herzbelastungsindex, Ballistokardiogramm-Smoking-Test und Bestimmung des Plasma-Noradrenalins vor und nach standardisiertem Rauchen durch.

DEMANY u. Mitarb. (39) zeigen, daß die Koronar-Arteriographie eine treffsicherere Methode darstellt als ein Leistungs-EKG mit Master-Test. MATZDORFF und SCHMIDT (104) geben der Langzeitbeobachtung über mehrere Stunden den Vorzug, da hier Hypoxie-Hinweise häufiger und sicherer zu finden seien als bei Leistungsversuchen.

Nach den Erfahrungen von MOLL und HAMACHER (113) und ROSKAMM, REINDELL u. Mitarb. (131) werden jedoch die Ergebnisse der Ergometerleistung durch keine andere Leistungsart übertroffen.

- 3.2.7. Eine Fehlermöglichkeit liegt in der Schwierigkeit, den Zeitpunkt des Abbruchs des Leistungs-EKG's bei allen Leistungen einheitlich zu bestimmen. Die Angabe von pectanginösen Beschwerden als Kriterium für den Abbruch war bei unseren Untersuchungen nicht zu verwerten; denn kein Patient gab trotz eindeutiger ST-Senkungen und anamnestischer Herzbeschwerden während der Leistungs-EKG's pectanginöse Beschwerden an. ARESKOG u. Mitarb. (5) hat in seinen Untersuchungen nur 13 %, LEPESCHKIN (93) schon 33 % Leistungs-Tests ohne Beschwerden. Nach den Berichten von ÅSTRAND (6) und FLEISCH (45) liegt dieser Anteil der Patienten schon bei 50 %, die anamnestisch eine Angina pectoris haben, einen subjektiv symptomlosen Leistungstest aufweisen und dennoch eindeutige ST-Senkungen zeigen. DOAN u. Mitarb. (42) beobachteten auch, daß außer EKG-Veränderungen keine klinischen Anzeichen für eine koronare Herzkrankheit bestanden. ROSKAMM u. Mitarb. (174) berichten von ihren Patienten, daß zuerst ST-Senkungen auftreten und erst bei weiterer Leistung der Beginn von Schmerzen angegeben wurde. BERESFORD (zit. n. 93) gibt dafür die Erklärung, daß der Leistungsgrad zur Erzielung von EKG-Veränderungen 2 bis 7 mal kleiner ist als zur Schmerzauslösung erforderlich wäre.

Deswegen mußte man sich bei den vorliegenden Untersuchungen ausnahmslos auf die EKG-Auswertung während der Leistung stützen. Dabei kann es geschehen,

daß ein Patient vielleicht eine Minute länger belastet wird als zur Diagnosestellung erforderlich wäre (z.B. Patient 2, System C). Dieser Fehler läßt sich dann bei der späteren genauen Ausmessung insoweit korrigieren, daß man die Minute oder Leistungsstufe, die zuviel belastet wurde, in Abzug bringt und bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt.

3.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten

3.3.1. Das benutzte Ergometer entsprach in seinen Abmessungen den Vorschlägen zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung (107). Da die Leistung pro Minute (bzw. alle 2 oder 3 Minuten) um 10 Watt anstieg, mußte der Patient die Drehzahl immer der geforderten Wattstufe anpassen. Das erforderte gelegentlich eine Anpassungszeit von einigen Sekunden. Dieser Fehler durch Nichteinhalten der Drehzahl dürfte nach MINX (112) bei 0,5 % liegen.

3.3.2. Die Befestigung der Plattenelektroden für die Extremitäten-Ableitungen in der Inguinalgegend hat nach KLEPZIG, MÜLLER und REINDELL (83) keinen negativen Einfluß auf das Leistungs-EKG.

Bei Patienten mit sehr behaartem Thorax kam es speziell in den höheren Leistungsstufen gelegentlich vor, daß die Saugelektroden nicht haften blieben. Durch das erneute Befestigen können dann sehr geringe Verschiebungen auf der Hautoberfläche auftreten, die sich in einer Änderung der R-Zacken-Höhe ausdrücken. Auf die ST-Strecke dürfte sich jedoch diese Veränderung kaum auswirken. Das gleiche gilt für das Anlegen der Elektroden bei den folgenden zwei Untersuchungen.

3.3.3. Das EKG-Gerät war von der Fa. Siemens vor den Untersuchungen durchgesehen und geeicht worden. Die bei DITTMAR (41) genannten Registrierfehler und Störungen auf die EKG-Qualität wurden weitestgehend vermieden. Gelegentliche Myogrammüberlagerungen und Thoraxexkursionen bei höheren Wattstufen ließen sich nicht vermeiden. Die Qualität der EKG's wurde dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt.

3.3.4. Das Wattmeter war durch die Fa. Lauckner geeicht worden. Die Eichung wurde vor Beginn der Versuche nach der Eichkurve kontrolliert.

3.4. Kritik zur Beurteilung der ST-Strecke

3.4.1. Die Auffassungen über die Beurteilung der ST-Senkung streuen erheblich. Sehr informativ ist die Zusammenfassung bei SOLVAY und DENOLIN (156), die auf einer Tabelle alle Kriterien für einen positiven Leistungstest bei zahlreichen Autoren darstellen.

Allgemein jedoch wird nicht überwiegend das Ausmaß der Senkung beachtet, sondern vielmehr die Form (vgl. Abb. 2). So werden als hypoxische Senkungen nur solche bezeichnet, die einen horizontalen, einen abwärts gerichteten oder einen muldenförmigen Verlauf aufweisen.

Dennoch wollen viele Autoren das Ausmaß der Senkung berücksichtigt wissen:

ab 0,05 mV sehen folgende Autoren eine ST-Senkung als hypoxisch an: ABARQUEZ u.M. (2), BLACKBURN u.M. (22), DOAN u.M. (42), BERKSON u.M. (18), GAZES u.M. (53), HEINECKER (62), KALTENBACH (77), KOPP u.M. (88), LLOYD-THOMAS (96), RUMBALL u.M. (136), STRANDELL (158) u.a.

ab 0,075 mV: FRIEDBERG u.M. (50).

ab 0,1 mV: BELLET u.M. (10-15), BRUCE u.M. (28), FOLLI u.M. (47), KAST und KLEPZIG (78), MELLEROWICZ u.M. (110), MOST u.M. (114), REINDELL und DELIUS (123), RUMBALL und ACHESON (137), YU u.M. (169), u.a.

ab 0,2 mV: CLASING u.M. (35), FRIEDBERG u.M. (51), ROSKAMM (135), und SCHERF u.M. (142).

Um den Prozentsatz der falsch-positiven Leistungstests möglichst gering zu halten, scheint eine Senkung von 0,1 mV unter gleichzeitiger Beachtung der hypoxischen Form als heute gebräuchlichste und fehlerfreieste Richtschnur zu gelten.

3.4.2. Die Messung der ST-Senkung wurde in Übereinstimmung mit einigen Autoren vom Niveau der vorangehenden PQ-Strecke gemessen (7, 40, 77, 90, 112, 131, 153, 158). FRIEDBERG (49) vergleicht die ST-Strecke mit der nachfolgenden TP-Strecke. Ist die PQ-Strecke bei größerer Leistung schwer beurteilbar, kann die ST-Senkung nach dem bei BUTSCHENKO (33) ausführlich dargestellten Verfahren ausgemessen werden.

3.4.3. Daß die ST-Senkung nur nach der Leistung aufschlußreich ist oder sich verstärkt, berichten wenige Autoren (14, 83, 94, 102, 130). ABARQUEZ u.M. (2) weisen darauf hin, daß sich während der Leistung bei Angina-pectoris-Patienten 4 mal so häufig ST-Senkungen darstellen als nach der Leistung. ABARQUEZ u.M. (1), FLEISCH (45) und andere (11, 32, 143, 148, 169) konnten zeigen, daß sich die ST-Senkungen schon in den ersten Sekunden nach der Leistung zurückbildeten. BERKSON u.M. (18) beobachteten, daß sich bei 12 Patienten mit horizontaler ST-Senkung nur bei 2 ausschließlich nach

der Leistung die Senkung zeigte, dagegen bei 2 nur während und bei 3 während und nach Leistung. Auch BLACKBURN u.M. (21) bewiesen, daß sofort nach Leistung noch 98 % einen positiven Test auswiesen, nach 4 Minuten dagegen nur noch 2 %.

Alle diese Befunde zeigen eindeutig die Überlegenheit des Leistungs-EKG, bei dem während der Leistung und wenige Sekunden danach das EKG aufgezeichnet wird.

3.4.4. Die Beurteilung der ST-Strecke ist auch deshalb sehr schwierig, weil die vielfältigsten Faktoren eine Senkung verursachen können. Neben der absoluten und relativen Koronarinsuffizienz können Schädigungen des Myocards verschiedener Ätiologie, Klappenfehler, pulmonale Hypertension, Hypotension, Infektionen, Hypertrophie des linken Ventrikels, das WPW-Syndrom, Elektrolyt- und Hormon-Störungen, Anämie, Adrenalin- oder Insulin-Injektionen, Digitalisierung und andere Faktoren eine ST-Senkung verursachen. Genauere Übersichten finden sich bei LEPESCHKIN (93) und SOLVAY und DENOLIN (156). Auf die Möglichkeit der Fehlbeurteilung besonders nach Digitalisierung weisen eine Reihe von Autoren hin (11, 54, 66, 89, 119, 131, 159, 165). NEUHAUS u.Mitarb. (118) geben eine Verminderung der ST-Senkung nach Persantin-Gaben an.

Neben den oben genannten Faktoren wurden noch ST-Senkungen bei dosierter Hyperthermie-Behandlung (63), nach Nikotinverabreichung (155, 162) und bei schweren Angst-Zuständen (92) beobachtet.

Durch genaue Untersuchung und gezielte Anamnese wurde versucht, diese Fehlermöglichkeiten bei unseren 12 Patienten zu eliminieren.

3.4.5. Eine weitere Fehlermöglichkeit stellen die ST-Senkungen dar, die schon durch kleinste Leistungen bei vegetativer Stigmatisation vorkommen (45, 52, 98). Im allgemeinen kann man wohl nach der Empfehlung von ROSKAMM, REINDELL u. Mitarb. (131) arbeiten: "Wenn somit an sich charakteristische ST-Senkungen bereits in der 1. Minute während geringer Leistung auftreten, ohne zunehmende Verstärkung bei Steigerung der Leistung, dann ist an die Möglichkeit zu denken, daß evtl. keine Koronarinsuffizienz vorliegt."

Dazu wichtig ist die Feststellung von DELIUS (38): "Organisch-koronare Krankheitsvorgänge dürften auch bei vorhandener ausgeprägter Vasolabilität von neurozirkulatorischen Störungen höchstens mitbedingt, nicht aber wesentlich verursacht werden."

3.4.6. Zur Kritik der allgemeinen Beurteilung von Elektrokardiogrammen sei noch auf die Untersuchung von DAVIES (36) hingewiesen: 10 anerkannten englischen Kardiologen war die Aufgabe gestellt, ihnen vorher unbekannte Elektrokardiogramme in die Sparten normal, abnormal oder Infarkt-EKG einzuteilen. DAVIES berichtet, daß nach seiner Untersuchung keine eindeutige Grenze zwischen normalen und abnormalen Elektrokardiogrammen zu ziehen möglich war.

4. Untersuchungsergebnisse und vergleichende Darstellung der Untersuchungsergebnisse

- 4.1. Die Ergebnisse werden in Elektrokardiogramm-Ausschnitten, Tabellen und graphischen Darstellungen im folgenden zusammengefaßt.
- 4.2. Im Anhang werden die Elektrokardiogramme, geordnet nach Patient und System, abgebildet. Dabei wurde so verfahren, daß zuerst eine Eichzacke, dann ein Komplex aus dem Ruhe-EKG und folgend je ein Komplex aus jeder Belastungsminute zur Darstellung kommt. Traten im Leistungs-EKG hypoxische ST-Senkungen auf, wurde von dieser Leistungsminute ein Abschnitt von 3 Komplexen abgebildet.

Im folgenden Erholungs-EKG werden die ersten Sekunden nach Abbruch und dann jede halbe Minute später bis zur 3. Minute dargestellt. Von jeder Minute, in der ST-Senkungen noch nachzuweisen waren, sind mehrere Komplexe abgebildet. Auf der Ordinate sind die Ableitungen V_4 , V_5 , V_6 , D, A, I aufgetragen, auf der Abszisse die Leistungsstufe bzw. die Zeit nach der Leistung.

- 4.3. Tabelle 4 und Abb. 3 zeigen das Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Zeit (Leistungsdauer).

Tabelle 5 und Abb. 4 erläutern das Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Leistungsstufe.

Tabelle 6 und Abb. 5 zeigen das Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Gesamt-Arbeit.

Tabelle 7 bringt eine Übersicht über das Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von den Ableitungen.

Tabelle 8 und Abb. 6 zeigen die Häufigkeit der ST-Senkungen in den einzelnen Ableitungen.

Abb. 7 veranschaulicht das Verschwinden der ST-Senkungen nach der Belastung (ebenso Tabelle 9 und 10).

Tabelle 11 veranschaulicht das Ergebnis der Signifikanz- und Korrelations-Berechnung.

Im Anhang (letzte Seite) wird anhand eines Falles (Patient 12, System C) die Rückbildung der ST-Senkung während der ersten 30 sec nach Abbruch der Leistung demonstriert.

Die Tabellen stellen die Einzelwerte bei Patienten und Systemen dar, die Abbildungen zeigen die Durchschnittswerte der Systeme.

- 4.4. Der Stichprobenmittelwert ist als $\bar{x}$,
die Stichprobenvarianz als $s = s^2$,
der Wert für die statistische Sicherheit mit p bezeichnet.

	System A =====	System B =====	System C =====
<u>Patient</u>	<u>Leistungs-</u> <u>minute</u>	<u>Leistungs-</u> <u>minute</u>	<u>Leistungs-</u> <u>minute</u>
1	6.	9.	10.
2	4.	7.	9.
3	6.	11.	11.
4	7.	10.	11.
5	4.	8.	13.
6	6.	10.	9.
7	8.	13.	15.
8	4.	8.	12.
9	7.	11.	15.
10	3.	6.	6.
11	4.	7.	8.
12	8.	12.	15.
Summe	67	112	134
$\bar{x}$	5,6	9,3	11,2
s	$\pm 1,7$	$\pm 2,1$	$\pm 3,0$

Tabelle 4 Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Zeit (Leistungsdauer).

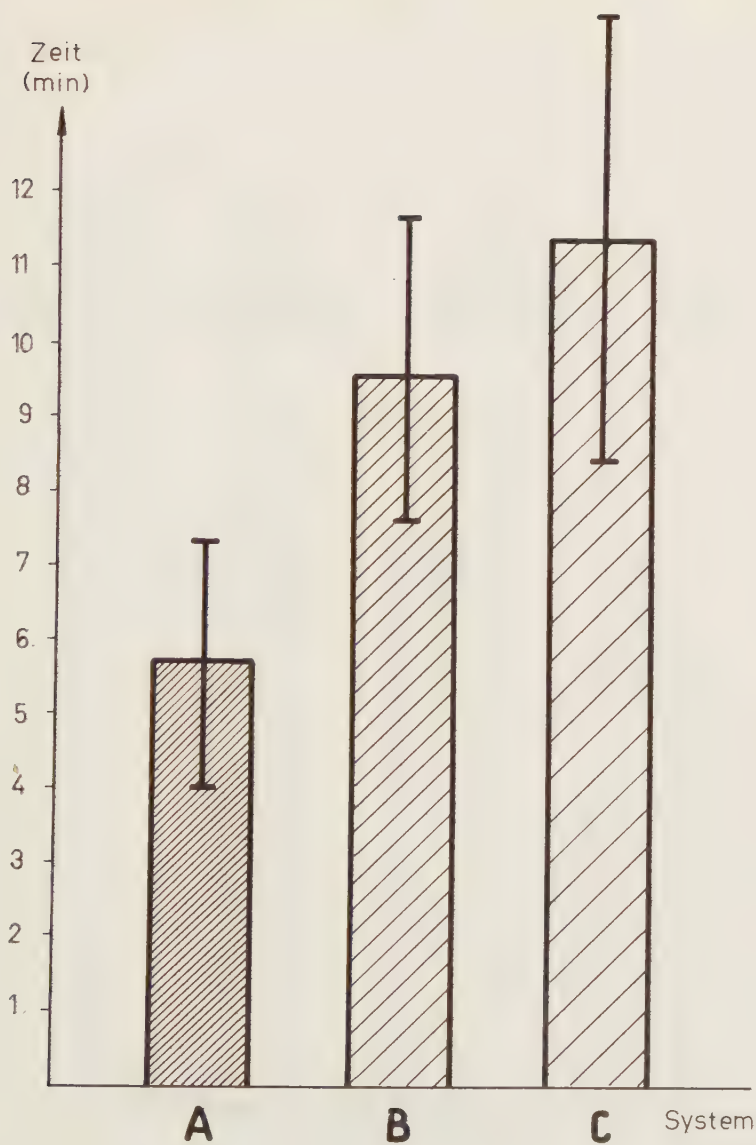


Abb. 2 Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Zeit (Leistungsdauer). Dargestellt sind die Durchschnittswerte und ihre quadratische Abweichungen.

	System A =====	System B =====	System C =====
<u>Patient</u>	<u>Leistungs- stufe (Watt)</u>	<u>Leistungs- stufe (Watt)</u>	<u>Leistungs- stufe (Watt)</u>
1	80	70	60
2	60	60	50
3	80	80	60
4	90	70	60
5	60	60	70
6	80	70	50
7	100	90	70
8	60	60	60
9	90	80	70
10	50	50	40
11	60	60	50
12	100	80	70
Summe	910	830	710
$\bar{x}$	76	69	59
s	17	12	10

Tabelle 5

Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Leistungsstufe.

(1 mkp/sec = 9,81 Watt $\approx$ 10 Watt)

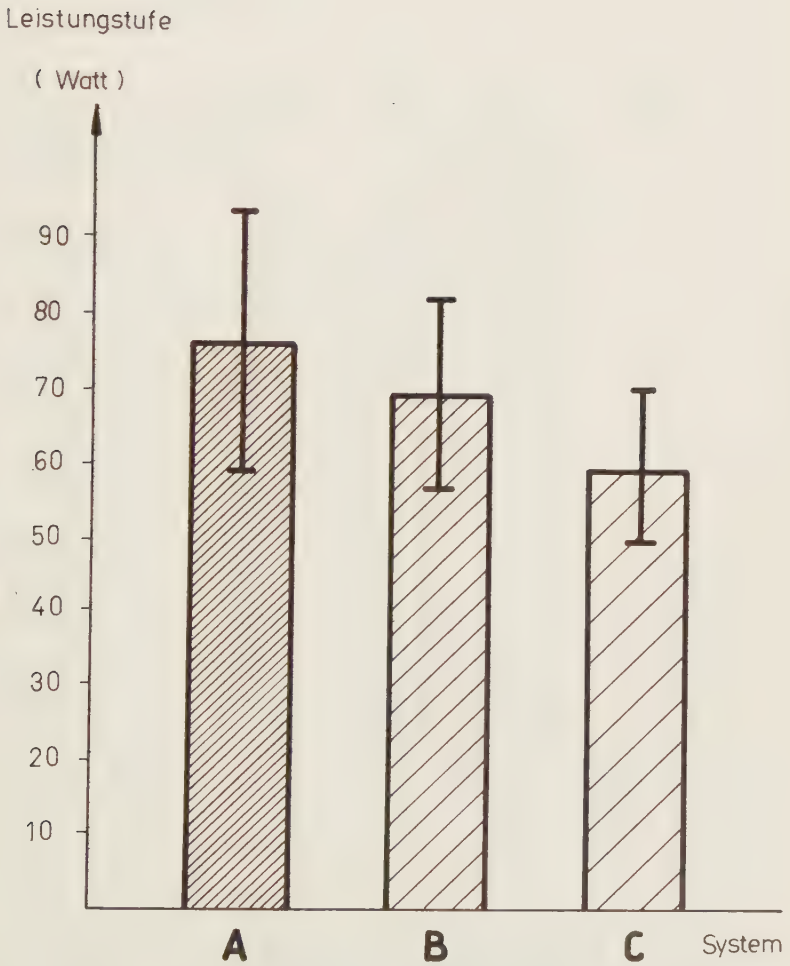


Abb. 4 Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Leistungstufe.

<u>Patient</u>	<u>System A</u> =====	<u>System B</u> =====	<u>System C</u> =====
	<u>(mkp)</u>	<u>(mkp)</u>	<u>(mkp)</u>
1	1980	2580	2520
2	1080	1800	2160
3	1980	3480	2880
4	2520	3000	2880
5	1080	2160	3660
6	1980	3000	2160
7	3120	4500	4500
8	1080	2160	3240
9	2520	3480	4500
10	720	1440	1260
11	1080	1800	1860
12	3120	3960	4500
<u>Summe</u>	<u>22260</u>	<u>33360</u>	<u>36120</u>
$\bar{x}$	1855	2780	3010
s	± 844	± 896	± 1092

Tabelle 6

Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Gesamt-Arbeit (Addition der Einzel-Leistungen jeder Minute). Umrechnung:
1 mkp/sec = 9,81 ~ 10 Watt.

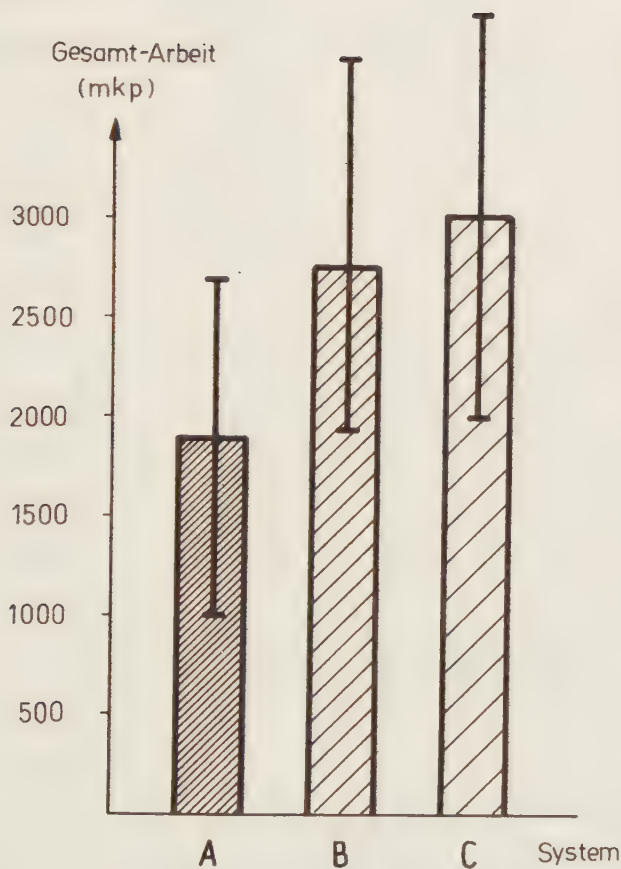


Abb. 5 Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von der Gesamt-Arbeit (Summe der Einzel-Leistungen jeder Minute). Umrechnung: 1 mkp/sec = 9,81 Watt.

	System A =====	System B =====	System C =====
<u>Patient</u>	<u>Ableitungen</u>	<u>Ableitungen</u>	<u>Ableitungen</u>
1	D	V ₅ , D	D
2	V ₄	V ₄	V ₄
3	V ₅ , V ₆ , D	V ₅ , D	V ₅ , V ₆ , D
4	D	D	D
5	D	D	V ₆ , D
6	D	D	D
7	I	I	I
8	D	D	V ₆ , D
9	V ₄ , V ₅	V ₄ , V ₅	V ₄ , V ₅
10	V ₆ , D	V ₆ , D	D
11	V ₄ , V ₅	V ₆	V ₆
12	V ₄ , V ₅ , V ₆ , D, A	V ₄ , V ₅ , V ₆ , A	V ₄ , V ₅ , V ₆ , D, A

Tabelle 7 Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von den Ableitungen.

V ₄	V ₅	V ₆	D	A	I
10	11	11	23	3	3

Tabelle 8 Häufigkeit der ST-Senkungen in den einzelnen Ableitungen.

Anzahl der
positiven
Ekg's

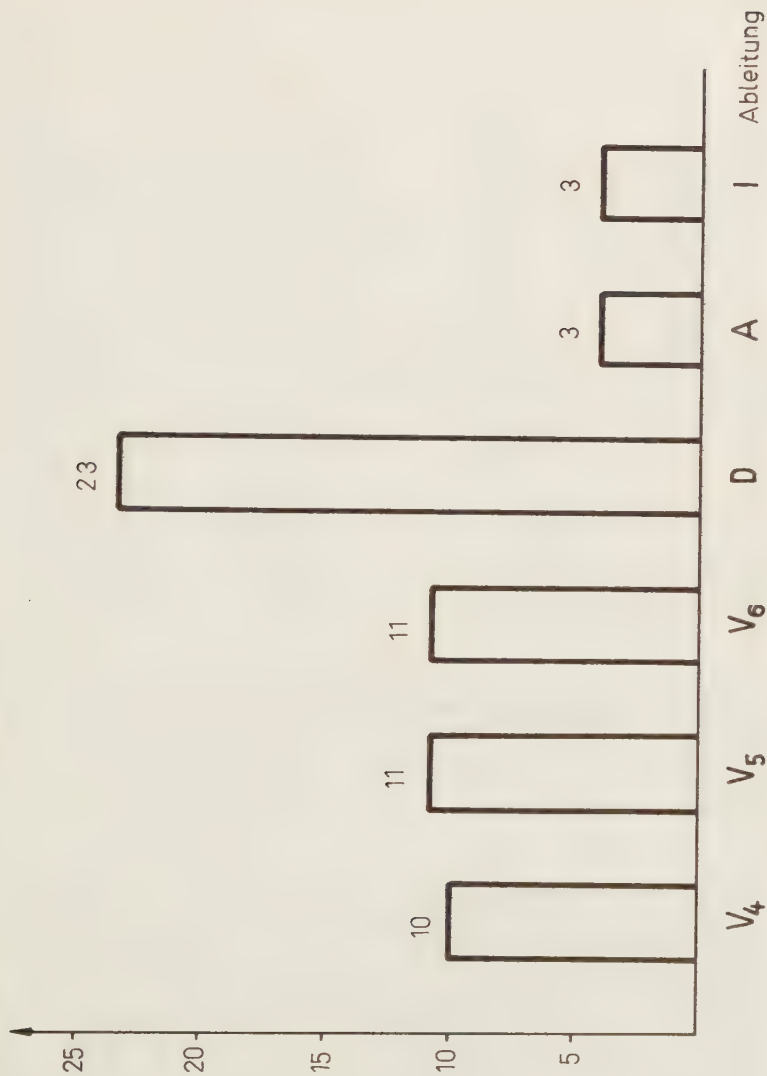


Abb. 6 Häufigkeit der ST-Senkungen in den einzelnen Ableitungen.

<u>Patient</u>	<u>System A</u> =====	<u>System B</u> =====	<u>System C</u> =====
	<u>(Zeit)</u>	<u>(Zeit)</u>	<u>(Zeit)</u>
1	> 1 min	> 1 min	< 30 sec
2	> 1 min	> 30 sec	> 30 sec
3	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
4	< 30 sec	> 30 sec	> 30 sec
5	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
6	< 30 sec	> 30 sec	< 30 sec
7	> 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
8	> 1,5 min	> 1 min	> 1 min
9	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
10	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
11	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec
12	< 30 sec	< 30 sec	< 30 sec

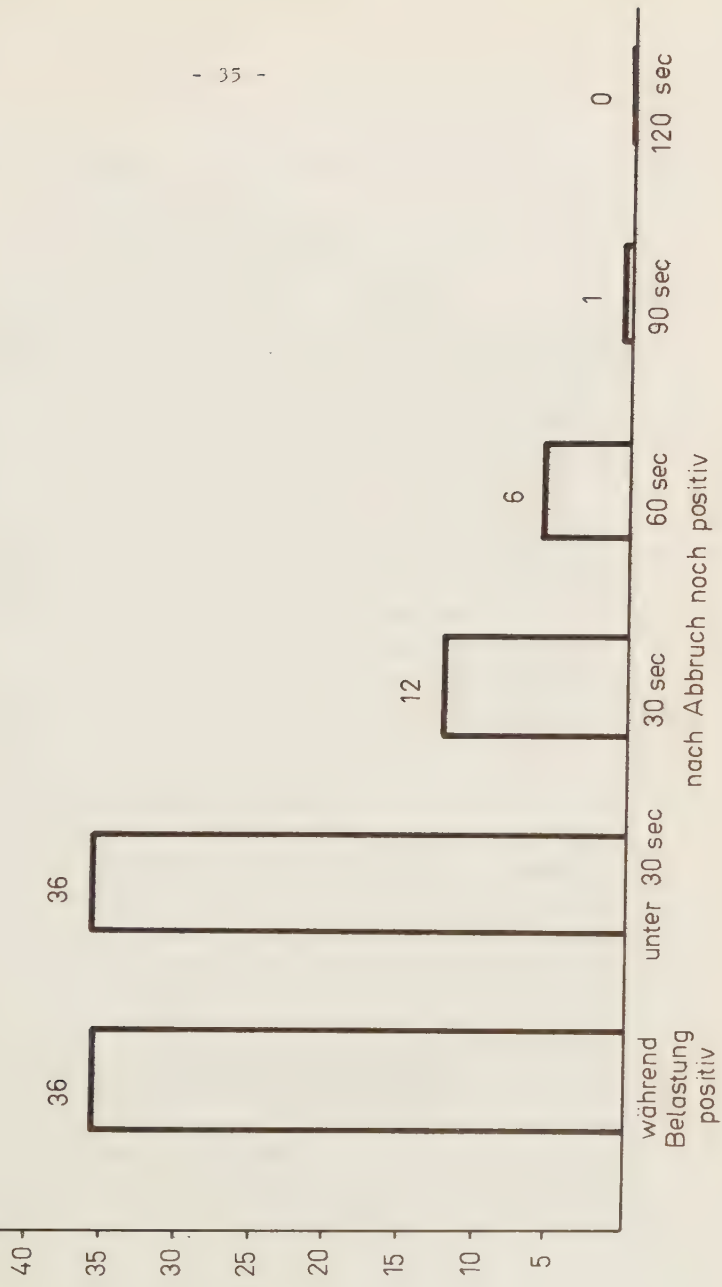
Tabelle 9 Dauer der ST-Senkungen nach Abbruch der Leistung.

Während der Leistung positiv	36 EKG's
In den ersten Sekunden nach Abbruch noch positiv	36 EKG's
Nach einer halben Minute noch positiv	12 EKG's
Nach einer Minute noch positiv	6 EKG's
Nach anderthalb Minuten noch positiv	1 EKG
Nach zwei Minuten noch positiv	- EKG
Nach zweieinhalb Minuten noch positiv	- EKG
Nach drei Minuten noch positiv	- EKG

Tabelle 10 Anzahl der positiven Leistungs-EKG's nach Abbruch der Leistung.

Anzahl der
positiven
EKGs

Abb. 7 Anzahl der positiven Leistungs-EKG's während
der Leistung und nach Abbruch der Leistung.



Verglichene Mittelwerte	Vergleich zwischen den Systemen	
	A - B	A - C
Zeit (Leistungs- dauer)	$p < 0,001$ $r = 0,962$	$p < 0,001$ $r = 0,790$
Leistungs- stufe	$p > 0,05$	$p < 0,05$
Gesamt- Arbeit	$p < 0,05$	$p < 0,05$

Tabelle 11 Signifikanzen (p-Werte) und Korrelations-
koeffizienten (r) der Mittelwerte.

5. Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

- 5.1. Der Wert des Leistungs-EKG's liegt in erster Linie in der Erkennung einer latenten Koronarinsuffizienz (ROSKAMM, REINDELL u. Mitarb.; 131). Das Auftreten von hypoxischen ST-Senkungen während und nach der Belastung gilt als Hinweis für das Vorliegen einer akuten Mangel-durchblutung des Myokards. ROSKAMM u. Mitarb. (174) haben 10 Koronarpatienten vergleichend mit Leistung am Fahrradergometer und Sauerstoffmangel-Beatmung untersucht. Als Vergleichsgröße für den Beginn der Koronarinsuffizienz wurde das Auftreten von Schmerzen oder Beginn bzw. Verstärkung einer ST-Senkung von 0,1 mV angenommen. Es ergaben sich statistisch signifikante Korrelationen zwischen Arbeitstoleranz und Hypoxietoleranz. Diese Versuche dürfen als Beweis gelten, daß ein direkter Zusammenhang zwischen hypoxischen ST-Senkungen bei Ergometer-Leistung und hypoxischen ST-Senkungen bei Sauerstoffmangel-Beatmung besteht.
- 5.2. Die Nomenklatur der ST-Senkungen ist nicht ganz einheitlich. Viele Autoren bezeichnen horizontale, descendierende oder muldenförmige ST-Senkungen als ischämisch; ebensooft wird für die gleiche Erscheinung der Begriff hypoxisch benutzt. Sieht man die Ursache der EKG-Veränderungen im Stoffwechsel infolge ungenügender Sauerstoffzufuhr und O_2 -Mangels (=Hypoxie), muß man folgerichtig von hypoxischen ST-Senkungen sprechen. Will man den morphologischen Aspekt bevorzugen, nämlich die Blutleere eines Organbezirkes durch mangelnde Blutzufuhr (=Ischämie), spricht man ischämischen ST-Senkungen. In der vorliegenden Arbeit werden die ST-Senkungen durchgehend als hypoxisch bezeichnet, weil ROSKAMM u. Mitarb. (174) den Zusammenhang zwischen Hypoxie und ST-Senkungen bewiesen haben.

Einschränkend ist zu sagen, daß im Einzelfall die tatsächliche Ursache einer ST-Senkung nicht mit Sicherheit festzustellen sein wird.

- 5.3. Es wurden 12 Patienten mit Koronarinsuffizienz verglegend mit drei verschiedenen Belastungs-Systemen untersucht und das Auftreten von ST-Senkungen in Abhängigkeit von Größe und Dauer der ergometrischen Leistung verglichen.

5.3.1. Bei allen Patienten traten ST-Senkungen in sicher signifikant ($p < 0,001$) kürzerer Zeit auf ($\bar{x} = 5,6$ min.), wenn sie mit System A belastet wurden (B: $\bar{x} = 9,3$ min; C: 11,2 min). Der Korrelationskoeffizient (r) betrug bei Vergleich A - B 0,96, bei A - C 0,79 und ist damit auch signifikant.

5.3.2. Die Abhängigkeit von der Zeit (=Leistungsdauer) läßt sich nicht isoliert betrachten, da anzunehmen ist, daß auch die Leistungsstufe und die Gesamt-Arbeit eine Rolle bei der Auslösung von ST-Senkungen spielen. So läßt sich zeigen, daß die Leistungsgröße anscheinend entscheidender für das Auftreten von ST-Senkungen ist als die Leistungsdauer; denn man kann keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen (A - B: $p > 0,05$; A - C: $p < 0,05$), da die Leistungsstufen im Durchschnitt ($\bar{x}$) nicht erheblich divergieren (A: 76 Watt; B: 69 Watt; C: 59 Watt).

5.3.3. Die Werte beim Vergleich der Gesamt-Arbeit (=Addition der Einzel-Leistungen jeder Minute) zeigen eine erhebliche Streuung; signifikante Unterschiede sind bei Vergleich der Systeme untereinander nicht festzustellen ($p < 0,05$). Der Grund, daß bei der Berechnung der Leistungsstufen und der Gesamt-Arbeit keine sichere Signifikanz gefunden wurde, mag in der kleinen Fallzahl und der teilweise großen Streuung zu suchen sein. Dennoch ist die Tendenz zu erkennen, daß alle Patienten mit den Einzelwerten der Leistungsstufe und der Gesamt-Arbeit bei System A fast ausschließlich unter den Werten der anderen Systeme liegen.

5.4. Durch Vergleich der Systeme und Abwägen der Unterscheidungskriterien kommt man zu dem Ergebnis:

5.4.1. Durch alle drei Belastungs-Systeme lassen sich bei Koronarpatienten reproduzierbare ST-Senkungen vom hypoxischen Typ hervorrufen.

5.4.2. System A bewirkt das im Vergleich hochsignifikant schnellste Auftreten von ST-Senkungen; die Gesamt-Arbeit ist niedrig, die Leistungsstufe ist unwesentlich höher.

5.4.3. System B bietet keinen Vorteil zu A; denn die Senkungen treten signifikant später auf; die Gesamt-Arbeit ist höher, die Leistungsstufe nahezu gleich.

5.4.4. System C hat den Nachteil einer langen Leistungsdauer; die Gesamt-Arbeit liegt im Durchschnitt nur unwesentlich über der des Systems B, aber immer deutlich über der von System A; die Leistungsstufe ist nicht signifikant kleiner.

5.5. Daraus läßt sich für die praktische Untersuchung eines Patienten mit einer vermuteten latenten Koronarinsuffizienz folgern: Da in der Praxis die Anwendbarkeit einer Untersuchungsmethode erheblich von der Dauer der Methode abhängt, läßt sich empfehlen, das hier vergleichend untersuchte System A zu verwenden. Wenn eine latente Koronarinsuffizienz vorliegen sollte, werden sich ST-Senkungen vom hypoxischen Typ in relativ kurzer Zeit bei einer im Vergleich geringen Gesamt-Arbeit einstellen. Da in den letzten 10 Sekunden jeder Leistungsminute das EKG registriert wird, ist die Möglichkeit gegeben, schon sehr kurz nach Auftreten der ST-Senkungen den Belastungs-Versuch abzubrechen. Damit wird die Gefährdung des Patienten auf ein Minimum gesenkt.

Dieses Ergebnis ist von theoretischem Interesse und von nicht geringer Bedeutung für die praktische Cardiologie.

5.6. Die Häufigkeit der ST-Senkungen in den einzelnen verwendeten Ableitungen bietet das überraschende Ergebnis, daß man neben den gebräuchlichen Ableitungen V_4 - V_6 nicht auf die zusätzliche Ableitung Nehb D verzichten sollte. Obwohl andere Autoren (32, 60, 73, 91, 117, 122, 143) auf die Bedeutung der Nehb'schen Ableitungen hingewiesen haben, konnten sich diese Ableitungen bisher in der Diagnostik nicht durchsetzen. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse sollte man Nehb D bei allen Leistungs-Elektrokardiogrammen mitschreiben, wenn man über einen Mehrkanal-Schreiber verfügt.

5.7. Die Tatsache, daß sich 2/3 aller ST-Senkungen innerhalb 30 Sekunden zurückgebildet haben, unterstreicht die Ergebnisse von FLEISCH (45) und anderen Autoren (1, 11, 95, 131, 143, 148, 169). Diese Befunde erhärten den Wert der EKG-Aufzeichnung während und unmittelbar nach der Leistung. Deshalb ist das Erholungs-EKG für die Erkennung von hypoxischen ST-Senkungen im allgemeinen nicht brauchbar.

5.8.1. Als Koronarinsuffizienz bezeichnen NEUHAUS u. Mitarb. (118) das "Mißverhältnis zwischen akut gesteigertem Blutbedarf und Blutangebot im Herzmuskel bei körperlicher Anstrengung oder psychischer Erregung". Dieses Mißverhältnis führt zu einer Änderung des oxydativen Stoffwechsels, die sich in Angina-pectoris-Symptomen und spezifischen, reversiblen EKG-Veränderungen zeigt. WENDT (116) machte schon 1941 darauf aufmerksam, daß Sauerstoffmangel allein nicht für eine ST-Senkung verantwortlich zu machen sei. Es entwickelten sich für die Ursache der Entstehung einer ST-Senkung verschiedene Theorien, von denen zwei als besonders bemerkenswert erwähnt werden sollten.

5.8.2. Die erste Theorie stellt die metabolische Komponente in den Vordergrund. Beobachtungen über Stoffwechseländerungen beim hypoxischen Herzen, im besonderen eine Zunahme der Glykolyse, wurden von zahlreichen Autoren gemacht (WENDT, 166; GORLIN u. Mitarb., 173; LOCHNER, 97; DOLL, KEUL u. Mitarb., 43; BENDA u. Mitarb., 16; SZEGI und HAASE, 160; ELLIOTT und GORLIN, 44; ROSELLE u. Mitarb., 128; KRÜGER, 89; HOCHREIN und LOSSNITZER, 68). Die Möglichkeit des Herzens, bei Hypoxie den

normalerweise aeroben Stoffwechsel auf einen teilweise anaeroben umzustellen, ist besonders von SZEGLI und HAASE (160) nachgewiesen worden. LOCHNER (97) gibt den möglichen anaeroben Energiegewinn mit 12 % an.

Eine Störung der Atmungskettenphosphorylierung, wie sie auch von NAGANO und HOCHREIN (116) beobachtet werden konnte, läßt die Vermutung zu, daß sich bei längerer Dauer dieser Stoffwechseländerungen elektronenmikroskopisch faßbare morphologische Veränderungen einstellen können. Dafür lieferten BÜCHNER und ONISHI (30, 31) hervorragende Befunde, die sie bei frischen hypoxischen Veränderungen des Herzmuskels durch Elektronenmikroskopie erheben konnten. Nach diesen Untersuchungen (31) besteht der Primäreffekt nach akuter Sauerstoffmangelatmung in folgenden zellulären Veränderungen:

- a) akutes Ödem der Mitochondrien, Aufhellung der Matrix, Cristolyse der Cristae mitochondrales, bandförmige Verbreiterung und Homogenisierung der Cristae mitochondrales
- b) bandförmige Homogenisierung der Myofilamente ohne Veränderungen der zugeordneten Kapillaren, Partialnekrosen des Myokards.

"Jeder dieser Mitochondrienveränderungen kommt eine große Bedeutung für Störungen des aeroben Energiestoffwechsels in den Herzmuskelzellen bei akuter Sauerstoffmangelhypoxie zu." (BÜCHNER und ONISHI, 31).

- 5.8.3. Die zweite Theorie befaßt sich mit den elektrischen Veränderungen der Zellmembran. HOLZMANN (71) spricht von einer ungleichen Depolarisation. Diese Theorie der Verletzungsspannung der Innenschichten hat durch die Experimente von TOYO-SHIMA, PRINZMETAL u. Mitarb. (175) Unterstützung erhalten. Die Autoren stellten fest, daß sich bei direkten Ableitungen aus Randgebieten von Myokardinfarkten signifikant ST-Senkungen einstellten, die mit einer Hyperpolarisation der Zellmembran einhergingen. Im Zentrum des Infarktes konnte eine ST-Hebung beobachtet werden, die von einer Hypopolarisation begleitet war. Diese Polarisationsstörungen sprechen für eine geschädigte Zellmembran. Die elektronenmikroskopischen Befunde (31) lassen neben den Mitochondrienveränderungen auch an eine Funktionsstörung der Zellmembran bei Hypoxie denken.
- 5.8.4. NEILL (177) berichtet von einem Anstieg des koronar-venösen Lactat-Pyruvat-Quotienten bei Koronar-Patienten mit maximaler Herzschlagfrequenz.
- 5.9. Alle Aspekte - metabolische, elektrische und morphologische - lassen sich zur folgenden Feststellung zusammenfassen: Die im EKG als ST-Senkung von hypoxischen Typ erscheinende Alteration wird von den oben angeführten Faktoren verursacht. Welcher Faktor allein verursachend oder zumindest überwiegend ausschlaggebend ist, läßt sich im Einzelfall nur sehr schwer nachweisen.

6. Zusammenfassung

- 6.1. Das Auftreten von ST-Senkungen vom hypoxischen Typ im Elektrokardiogramm wurde mit drei verschiedenen ergometrischen Belastungsmethoden in 36 Versuchsreihen an 12 Patienten mit stenocardischen Anfällen vergleichend untersucht.

Die Belastungsart bestand in Ergometer-Fußkurbelarbeit im Liegen. Die Belastungs-Systeme unterschieden sich in der Dauer der einzelnen Leistungs(=Watt)-Stufen:

System A: eine Minute lang 30 Watt,
Steigerung je Minute um 10 Watt

System B: zwei Minuten lang 30 Watt,
Steigerung alle zwei Minuten um 10 Watt

System C: drei Minuten lang 30 Watt,
Steigerung alle drei Minuten um 10 Watt

In jeder Leistungsminute wurde ein EKG in den 6 Ableitungen V_4 - V_6 , D, A, I geschrieben. Die Belastung wurde beim Auftreten von ST-Senkungen vom hypoxischen Typ abgebrochen und danach in Abständen von 30 Sekunden Erholungs-EKG's aufgezeichnet.

- 6.2. Die Ergebnisse wurden in EKG-Ausschnitten, Tabellen und graphischen Darstellungen zusammengefaßt.

6.2.1. Es wurde festgestellt, daß System A das im Vergleich hochsignifikant schnellste Auftreten von ST-Senkungen hervorruft.

6.2.2. Die Unterschiede in der Gesamt-Arbeit und den Leistungsstufen waren nicht signifikant. Dennoch liegen die Werte von System A bei allen Patienten unter denen von System B bzw. C.

- 6.2.3. In der Ableitung Nehb D traten ST-Senkungen vom hypoxischen Typ am häufigsten auf. Daraus folgt die Empfehlung, neben den Brustwandableitungen $V_4 - V_6$ auch die Ableitung D zu verwenden.
- 6.2.5. Es wurde beobachtet, daß sich in 24 von 36 EKG's die ST-Senkungen innerhalb von 30 Sekunden zurückgebildet hatten. Deshalb ist das Erholungs-EKG für die Erkennung von hypoxischen ST-Senkungen im allgemeinen nicht brauchbar.
- 6.3. In der Beurteilung der Ergebnisse wurde darauf hingewiesen, daß System A den Vorteil einer schnellen, praktischen, zuverlässigen und gefahrlosen Methode bietet, eine latente Koronarinsuffizienz im Leistungs-EKG aufzudecken. Sie hat besondere Bedeutung als Methode der präventiven und rehabilitativen Cardiologie.

10. Bellet, S.,
Eliakim, M.,
Deliyiannis, S. und
Lavan, D.: Radioelectrocardiography during exercise in patients with angina pectoris. Comparison with the postexercise electrocardiogram.
Circulation, New York 25, 5 (1962)
11. Bellet, S., Elia-
kim, M.,
Deliyiannis, S. und
Figallo, E.M.: Radioelectrocardiographic changes during strenuous exercise in normal subjects.
Circulation, New York 25, 686 (1962).
12. Bellet, S.,
Muller, O.F.,
LaVan, D.W.,
Nichols, G.J. und
Herring, A.B.: Radioelectrocardiography during exercise in patients with the anginal syndrome: Use of multiple leads.
Circulation, New York 29, 366 (1964)
13. Bellet, S. und
Muller, O.F.: The electrocardiogram during exercise; its value in the diagnosis of angina pectoris.
Circulation, New York 32, 477 (1965)
14. Bellet, S. und
Roman, L.: The effect of exercise on postural changes in the electrocardiogram.
Circulation, New York 33, 117 (1966)
15. Bellet, S.,
Roman, L. und
Nichols, G.J.: Detection of coronary-prone subjects in a normal population by radioelectrocardiographic exercise test.
Amer.J.Cardiol., New York 19, 783 (1967)
16. Benda, L.,
Doneff, D. und
Moser, K.: Experimentelle Untersuchungen über den Herzstoffwechsel während Sauerstoffmangel.
Wien.Zschr.inn.Med. 46, 49 (1965)
17. Berghes, D.: Untersuchungen über das Ausmaß von Tagesschwankungen im EKG gesunder Versuchspersonen.
Zschr.Kreisf.forsch., Darmstadt 54, 35 (1965)
18. Berkson, D.M.,
Stamler, I. und
Jackson, W.: The precordial electrocardiogram during and after strenuous exercise.
Amer.J.Cardiol., New York 18, 43 (1966)
19. Bjurulf, P.,
Garlind, T. und
Sternby, N.H.: On epidemiologic methods for recording ischaemic heart disease.
Acta med. Scand. Suppl. 474 (1967)

20. Blackburn, H. und Katigbak, R.: What electrocardiographic leads to take after exercise?
Amer.Heart J. 67, 184 (1964)
21. Blackburn, H., Mitchell, P. und Imbimbo, B.: The exercise ECG test. At what intervals to record after exercise?
Amer.Heart J. 67, 186 (1964)
22. Blackburn, H., Taylor, H.L. und Vasquez, C.L.: The electrocardiogram during exercise. Findings in bipolar chest leads of 1,449 middle-aged men, at moderate work level.
Circulation, New York 33, 1034 (1966)
23. Blumberger, K.J.: Schmerzlokalisierung bei Herzinfarkt und Angina pectoris.
Selecta, München 10, 953 (1968)
24. Borkenstein, E.: WPW-Syndrom - Hypoxie - Infarkt?
Wien.med.Wschr. 115, 301 (1965)
25. Bretschneider, H.J.: Akute Probleme der Koronardurchblutung und des Myokardstoffwechsels.
Regensb.Jb.ärztl.Fortb. 15, 1 (1967)
26. Breu, W.: Elektrokardiographische Beiträge und vergleichende Betrachtungen akuter Vergiftungen unter besonderer Berücksichtigung der Kohlenmonoxyd-Vergiftung.
Arch.Kreislaufforsch., Darmstadt 11, 107 (1942)
27. Broustet, P., Bricaud, H. und Sagardiluz, J.: Intérêt de l'enregistrement électrocardiographique continu au cours de l'effort.
Arch.mal.coeur, Paris 59, 1023 (1966)
28. Bruce, R.A., Mazzarella, J.A., Jordon, J.W. und Green, E.: Quantitation of QRS and ST-segment responses to exercise.
Amer.Heart J. 71, 455 (1966)
29. Büchner, F., Reindell, H., Klepzig, H. und Weyland, R.: Vergleichende elektrokardiographische und morphologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Brustwandableitungen.
Verh.Dtsch.Ges.Kreisl.forsch. 18, 141 (1952)
30. Büchner, F. und Onishi, S.: Frühstadien der akuten hypoxischen Veränderungen des Herzmuskels im elektronenmikroskopischen Bild und ihre Bedeutung für die akute hypoxische Herzinsuffizienz.
Beitr.path.Anat., Jena 135, 153 (1967)

31. Büchner, F. und Onishi, S.: Der Herzmuskel bei akuter Koronarinsuffizienz im elektronenmikroskopischen Bild.
Verlag Urban u. Schwarzenberg, München - Berlin - Wien, 1968
32. Butschenko, L.A.: Dynamik des Elektrokardiogramms während körperlicher Belastung und in der Erholungsperiode.
Med. u. Sport, Berlin 5, 104 (1965)
33. Butschenko, L.A.: Das Ruhe- und Belastungs-EKG bei Sportlern.
Joh.Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1967
34. Chapelle, C.E.de la: The recognition of angina pectoris.
Circulation, New York 21, 1061 (1960)
35. Clasing, D. und Durosoy, F.P.: Untersuchungen über die Auswirkung der allg. Grundausbildung der Bundeswehr auf die körperliche Leistungsfähigkeit der Rekruten.
2. Mitteilung.
Sportarzt u. Sportmedizin, Köln 16, 85 (1965)
36. Davies, L.G.: Observer variation in reports on electrocardiograms.
Brit.Heart J. 20, 153 (1958)
37. Davis, F.W., Scarborough, W.R., Mason, R.E., Singewald, M.L. und Baker, B.M.: The effects of exercise and smoking on electrocardiograms and ballistocardiograms of normals subjects and patients with coronary artery disease.
Amer.Heart J. 46, 529 (1953)
38. Delius, L.: Zur Problematik der Koronarinsuffizienz im EKG.
Bad Oeyenhauser Gespräche II,
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1958, S. 241
39. Demany, M.A., Tambe, A. und Zimmermann, H.A.: Correlation between coronary arteriography and the postexercise electrocardiogram.
Amer.J.Cardiol., New York 19, 526 (1967)
40. Dimond, G.E.: The exercise test and prognosis of coronary heart disease.
Circulation, New York 24, 736 (1961)

41. Dittmar, H.A.: Über Registrierfehler und technische Störungen bei der Aufzeichnung des Elektrokardiogramms.
Materia med. Nordmark 20, 68 (1968)
42. Doan, A.E., Peterson, D.R., Blackmon, J.R. und Bruce, R.A.: Myocardial ischemia after maximal exercise in healthy men. A method for detecting potential coronary heart disease?
Amer. Heart J. 69, 11 (1965)
43. Doll, E., Keul, J., Steim, H., Maiwald, C. und Reindell, H.: Über den Stoffwechsel des menschlichen Herzens. II. Sauerstoff- und Kohlen-säuredruck, pH, Standardbikarbonat und base excess im coronarvenösen Blut in Ruhe, während und nach körperlicher Arbeit.
Pflügers Arch. Physiol. 282, 28 (1965)
44. Elliot, W.C. und Gorlin, R.: The coronary circulation, myocardial ischemia, and angina pectoris. Mod. concepts Cardiovasc. Dis., New York 35, 111 (1966)
45. Fleisch, A.O.: Elektrokardiographie während Belastung unter direkter Kontrolle am Sicht-gerät.
Cardiologia, Basel 40, 235 (1962)
46. Fleisch, A.O.: Gefahren und Grenzen des Arbeitsver-suchs im Elektrokardiogramm.
Schweiz.med.Wschr. 92, 456 (1962)
47. Folli, G., Binaghi, G. und Gianì, P.: L'elettrocardiogramma durante lo sforzo: tecnica e primi risultati di un test al cicloergometro.
Mal. cardiovasc., Roma 6, 211 (1965)
48. Freiman, A.H., Tolles, W., Carberry, W.J., Rueggesser, P., Abarquez, R.F. und LaDue, J.S.: The electrocardiogram during exer-cise.
Amer. J. Cardiol., New York 5, 506 (1960)
49. Friedberg, C.K.: Erkrankungen des Herzens.
G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1959
50. Friedberg, C.K. und Zager, A.: "Nonspecific" S-T and T-wave changes. Circulation, New York 23, 655 (1961)
51. Friedberg, C.K. und Jaffe, H.L.: The two-step exercise electrocardio-gram. A double blind evaluation of use in the diagnosis of angina pectoris. Circulation, New York 26, 1254 (1962)

52. Friesinger, G.C.,
Likar, I.,
Biern, R.O und
Mason, R.E.: Vasoregulatory asthenia: a cause for
false positive exercise ECG.
Circulation, New York Suppl. 32-33,
90 (1965)
53. Gazes, P.C.,
Culler, M.R. und
Stokes, J.K.: The diagnosis of angina pectoris.
Amer. Heart J. 67, 830 (1964)
54. Georgopoulos, A.J.,
Proudfit, W.L. und
Page, I.H.: Effect of exercise on electrocardio-
grams of patients with low serum
potassium.
Circulation, New York 23, 567 (1961)
55. Gillmann, H.: Über die Möglichkeit gezielter elek-
trokardiographischer Zusatzableitungen.
Cardiologia, Basel 19, 47 (1951)
56. Gilson, J.S.,
Holter, N.J. und
Glasscock, W.R.: Clinical observations using the
Electrocardiocorder-AVSEP continuous
electrocardiographic system.
Amer. J. Cardiol., New York 14, 204
(1964)
57. Gorlin, R.: Pathophysiology of cardiac pain.
Circulation, New York 32, 138 (1965)
58. Graybiel, A. und
Allebach, N.W.: Work electrocardiogram.
Amer. J. Cardiol., New York 3, 430
(1959)
59. Gubner, R.S.: The exercise electrocardiographic
test. II. Determinants of ischemic
electrocardiographic abnormalities
and chest pain.
Occup.Med., Chicago 3, 110 (1961)
60. Hahn, W. und
Zeh, E.: Die klinische Bedeutung des kleinen
Herzdreiecks nach Nehb.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt
38, 14 (1949)
61. Heinecker, R.: Über Anwendung, Ausführung und Bewer-
tung des sogenannten Belastungs-Elek-
trokardiogramms.
Dtsch.med.Wschr. 90, 15 (1965)
62. Heinecker, R.: EKG-Fibel.
G.Thieme-Verlag, Stuttgart, 1965
63. Henssge, R.: EKG bei kontrolliertem Fieber.
Dtsch. Gsd.wes., Berlin 22, 1729
(1967)

64. Heyden, S. und Villiger, U.: Die Epidemiologie der Koronarerkrankungen in ihrer Bedeutung für die Praxis.
Regensb. Jb. ärztl. Fortb. 15, 69 (1967)
65. Higgins, I.T.T., Kannel, W.B. und Dawber, T.R.: Electrocardiogram in epidemiological studies.
Brit. J. Prev. Med., London 19, 53 (1965)
66. Hirsch, E.Z.: The effects of digoxin on the ECG after strenuous exercise in normal men.
Amer. Heart J. 70, 196 (1965)
67. Hochrein, H.: Über den Energie-, Elektrolyt- und Enzym-Stoffwechsel des hypoxischen Herzens.
Med. Welt 20, 1112 (1964)
68. Hochrein, H. und Lossnitzer, K.: Beziehungen des Myokardstoffwechsels zur Herzinsuffizienz.
Münch.med.Wschr. 110, 53 (1968)
69. Holmgren, A. und Strandell, T.: On the use of chest-head leads for recording of electrocardiogram during exercise.
Acta med. Scand. 169, 57 (1961)
70. Holzmann, M.: Differenzierungsmöglichkeiten bei der Angina pectoris.
Dtsch.med.Wschr. 79, 1109 (1954)
71. Holzmann, M.: Klinische Elektrokardiographie.
G. Thieme-Verlag, Stuttgart, 1965
72. Holzmann, M.: Klinik, Verlaufsformen und Prognose der Koronarinsuffizienz.
Regensb.Jb.ärztl.Fortb. 15, 51 (1967)
73. Jungmann, H. und Knoop, G.: Über die Gewöhnung an Ergometer-Untersuchungen.
Sportarzt u. Sportmedizin, Köln 17, 287 (1966)
74. Kaltenbach, M. und Klepzig, H.: Das EKG während Belastung und seine Bedeutung für die Erkennung der Koronarinsuffizienz.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt 52, 486 (1963)

75. Kaltenbach, M.: Zur Leistungsfähigkeit des Herzens unter experimenteller Hypokaliämie beim Menschen.
Zschr. Kreisl.forsch., Darmstadt 54, 221 (1965)
76. Kaltenbach, M.: Stufenbelastungen zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Koronarreserve.
Dtsch.med.Wschr. 91, 884 (1966)
77. Kaltenbach, M.: Prognostische Bedeutung des Belastungs-Elektrokardiogramms.
Med. Klin. 62, 710 (1967)
78. Kast, G. und Klepzig, H.: Diagnostik der Koronarinsuffizienz in der Praxis.
Med. Klin. 61, 821 (1966)
79. Keul, J., Doll, E., Steim, H. und Reindell, H.: Der Substratverbrauch des entlasteten und belasteten Herzens.
Verhandlg.Dtsch.Ges.inn.Med. 70, 131 (1964)
80. Keul, J., Doll, E., Steim, H., Fleer, U. und Reindell, H.: Über den Stoffwechsel des menschlichen Herzens.
III. Der oxydative Stoffwechsel des menschlichen Herzens unter verschiedenen Arbeitsbedingungen.
Pflügers Arch. Physiol. 282, 43 (1965)
81. Keul, J. und Doll, E.: Die biochemischen Auswirkungen der Koronarinsuffizienz.
Hippokrates, Stuttgart 10, 369 (1966)
82. Kienle, F.: Praktische Elektrokardiographie.
G. Thieme-Verlag, Stuttgart, 1950
83. Klepzig, H., Müller, D. und Reindell, H.: Über das EKG während Belastung und seine klinische Bedeutung.
Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 45, 741 (1956)
84. Knipping, H.W., Bolt, W., Valentin, H. und Venrath, H.: Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken.
Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart, 1960
85. König, K.: Belastungsprüfungen bei der diagnostischen Abgrenzung der "funktionellen von der organischen Herzinsuffizienz".
Aerztl.Forschg., Wörishofen 21, 255 (1967)

86. König, K.,
Reindell, H.,
Hoffmann, G. und
Achtermann, R.:
Zur Frage der Glycosid-Therapie bei
der latenten Herzinsuffizienz (Be-
lastungsinsuffizienz) unter besonderer
Berücksichtigung des Altersherzens.
Arch. Kreislaufforsch., Darmstadt 43,
86 (1964)
87. König, K.,
Reindell, H. und
Roskamm, H.:
Über einen einfachen Ergometertest
zur Ermittlung der Leistungsreserven
des Herzens bei Musterungsuntersuchun-
gen.
Wehrmed., Darmstadt 4, 65 (1966)
88. Kopp, H. und
Klein, B.:
Ergometrische Untersuchungen zur Er-
mittlung der Belastbarkeit von Pa-
tienten zwei Monate nach Eintritt
eines Myocardinfarktes.
Beitr. zum XVI. Weltkongreß für Sport-
medizin, Hannover 1966
89. Krüger, K.:
Metabolische Aspekte der ischämischen
Herzkrankheit.
Med. Klin. 62, 1361 (1967)
90. Leinbach, R.C. und
Caceres, C.A.:
The electrocardiogram in tachycardie.
Common errors of interpretation.
Amer. Heart J. 71, 611 (1966)
91. Lemmerz, A.H.,
Schmidt, R. und
Kranemann, J.:
Die Deutung des EKG.
Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1964
92. Lenz, H.:
Die Angst im EKG.
In: Muskel und Psyche-Symposium
S. Karger-Verlag, Basel, 1964, S. 184
93. Lepeschkin, E.:
Das Elektrokardiogramm.
Dr. Th. Steinkopff-Verlag, Dresden-
Leipzig, 1957
94. Lepeschkin, E.:
Exercise tests in diagnosis of coro-
nary heart disease.
Circulation, New York 22, 986 (1960)
95. Lester, F.M.,
Sheffield, L.T. und
Reeves, T.J.:
Electrocardiographic changes in clini-
cally normal older men following near
maximal and maximal exercise.
Circulation, New York 36, 5 (1967)
96. Lloyd-Thomas, H.G.:
The exercise electrocardiogram in
patients with cardiac pain.
Brit. Heart J. 23, 561 (1961)

97. Lochner, W.: Substratumsatz, Sauerstoffverbrauch und anaerober Energiegewinn des Herzens. Zschr. Kreisl.forsch., Darmstadt 54, 103 (1965)
98. Lutterotti, M.v.und Korth, C.: Atlas der klinischen Elektrokardiographie. Verlag Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin, 1961
99. MacAlpin, R.N. und Kattus, A.A.: Adaptation to exercise in angina pectoris. Circulation, New York 33, 183 (1966)
100. Marx, H.H., Zühlke, H.E. und Schütze, B.: Möglichkeiten und Grenzen der Ergometrie für klinische Fragestellungen. Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 54, 1054 (1965)
101. Master, A.M. und Jaffè, H.L.: Physiologic effects of obesity upon the heart. Amer.Geriatric Soc., New York, 1954
102. Master, A.M. und Rosenfeld, I.: Monitored and postexercise two step test. Detection of silent coronary heart disease and differential diagnosis of chest pain. J. Amer. Med. Ass. 190, 494 (1964)
103. Mattingly, T.W.: The postexercise electrocardiogram. Amer.J. Cardiol., New York 9, 395 (1962)
104. Matzdorff, F. und Schmidt, F.L.: Fortlaufende EKG-Registrierung über mehrere Stunden. Med. Klin. 61, 825 (1966)
105. Mechelke, K. und Christian, P.: Vegetative Herz- und Kreislaufstörungen. In: Handb. Inn. Med., IX, 704 (1960) Hrsg.: Bergmann, G.v. u. Heilmeyer, L. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
106. Mellerowicz, H.: Präventive Cardiologie. Medicus-Verlag, Berlin, 1961
107. Mellerowicz, H., Reindell, H., Hollmann, W., Mies, H. und Roskamm, H.: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. Zschr. Kreisl.forsch., Darmstadt 50, 273 (1961)

108. Mellerowicz, H.: Ergometrie.
Verlag Urban u. Schwarzenberg,
München-Berlin, 1962
109. Mellerowicz, H.,
Roskamm, H.,
Hettinger, Th.,
Hollmann, W.,
Klaus, E.J.,
König, K., Mies, H.,
Reindell, H. und
Stoboy, E.: Vorschläge zur Standardisierung der
ergometrischen Leistungsmessung.
2. Mitteilung.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt 53,
856 (1964)
110. Mellerowicz, H. und
Baron, D.: Präventive Analyse von Risikofaktoren
degenerativer Herzkrankheiten.
Sportarzt u. Sportmedizin, Köln
18, 268 (1967)
111. Metzner, A.: Untersuchung und Beurteilung des Kreis-
laufs.
In: Praktische Sportmedizin.
Hrsg.: Heiss, F.
Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart,
1964, S. 47
112. Minx, W. und
Mellerowicz, H.: Das Elektrokardiogramm bei ergome-
trischen Leistungen.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt
54, 448 (1965)
113. Moll, A. und
Hamacher, F.: Elektrokardiographische Funktions-
prüfungen von Herz und Kreislauf in
Klinik und Praxis.
Tägl. Praxis, Wien 8, 337 (1967)
114. Most, A.S.,
Hornsten, T.R. und
Hofer, V.: Exercise ST changes in healthy men.
Arch. Int. Med., Chicago 121, 225
(1968)
115. Myers, G.B. und
Talmers, F.N.: The electrocardiographic diagnosis
of acute myocardial ischemia.
Ann. Int. Med., Philadelphia 43, 361
(1955)
116. Nagano, M. und
Hochrein, M.: Enzymatische Störungen im Myokard bei
Belastung und Insuffizienz des
Herzens.
Klin. Wschr. 41, 792 (1963)
117. Nehb, W.: Zur Standardisierung der Brustwand-
ableitungen des Elektrokardiogramms.
Klin. Wschr. 17, 1807 (1938)

118. Neuhaus, G.,
Lerche, D. und
Schugk, P.: Der Hypoxie-Test als Prüfung von
koronarwirksamen Arzneimitteln,
insbesondere von Persantin beim
Menschen.
Med. Klin. 15, 695 (1961)
119. Nordström-Öhrberg, G.: Effect of digitalis glucosides on
electrocardiogram and exercise test
in healthy subjects.
Acta med.Scand. Suppl. 420 (1964)
120. Ottlitz, C.: Unterschiede der Reaktion auf Ergo-
meterbelastung zwischen männlichen
und weiblichen Sportlern.
Med. u. Sport, Berlin 4, 169 (1964)
121. Prinzmetal, M.,
Toyoshima, H.,
Ekmekci, A.,
Flamm, E.,
Mizuno, Y.,
Nagaya, T.,
Nakayama, R. und
Yamada, K.: Angina pectoris. VII. The nature
of ST-depression in acute myocar-
dial ischemia.
Amer. J. Cardiol., New York 13,
498 (1964)
122. Randig, K.: Die Ableitung des Nehb'schen Dreiecks
beim gesunden und kranken Herzen.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt
43, 558 (1954)
123. Reindell, H. und
Delius, L.: Über Erfahrungen mit dem Belastungs-
Elektrokardiogramm.
Klin. Wschr. 20, 497 (1941)
124. Reindell, H.,
Schildge, E.,
Klepzig, H. und
Kirchhoff, H.W.: Kreislaufregulation.
G. Thieme-Verlag, Stuttgart, 1955
125. Robb, G.P.,
Marks, H.H. und
Mattingly, T.W.: Value of the double standard two-
step exercise test in detection of
coronary disease.
Transactions of the Association of
Life Insurance Medical Directors of
America, New York 40, 52 (1956)
126. Robb, G.P. und
Marks, H.H.: Latent coronary artery disease deter-
mination of its presence and severity
by the exercise electrocardiogram.
Amer. J. Cardiol., New York 13, 603
(1964)

127. Robb, G.P. und Marks, H.H.: Postexercise electrocardiogram in arteriosclerotic heart disease. J. Amer.Med. Ass. 200, 918 (1967)
128. Roselle, H.A., Crampton, R.S. und Case, R.B.: Alternans of the depressed ST-segment during coronary insufficiency. Amer.J.Cardiol., New York 18, 201 (1966)
129. Rosenfeld, I., Master, A.M. und Rosenfeld, C.: Recording the electrocardiogram during the performance of the Master two-step test. Circulation, New York 29, 204 (1964)
130. Rosenkranz, K.-A. und Drews, A.: Über eine modifizierte Ableitungsmethode zur Registrierung von Brustwandelektrokardiogrammen während dosierter körperlicher Belastung. Zschr.Kreisl.forsch., Darmstadt 53, 615 (1964)
131. Roskamm, H., Reindell, H., Novakovic, N., Büchner, C. und Blümchen, G.: Die klinische Bedeutung des Elektrokardiogramms während Ergometerbelastung. Aerztl.Lab., Würzburg 9, 277 (1963)
132. Roskamm, H., Reindell, H., Emmrich, J., Barmeyer, J., Kessler, M. und Novakovic, N.: Das EKG während dosierter Ergometerbelastung bei Normalpersonen und Infarktpatienten, seine Beziehung zu Herzgröße und Leistungsfähigkeit. Dtsch.Arch.klin.Med. 209, 331 (1964)
133. Roskamm, H., Reindell, H. und König, K.: Körperliche Aktivität und Herz- und Kreislaufkrankungen. Joh.Ambrosius Barth-Verlag, München, 1966
134. Roskamm, H., König, K. und Reindell, H.: Derzeitige Kenntnisse ergometrischer Normalwerte. In: 1. Internat.Sem.Ergometrie, Institut für Leistungsmedizin, Berlin, 1966, S. 15
135. Roskamm, H.: Rehabilitation von Patienten mit Herz- und Kreislaufkrankungen. Sportarzt u. Sportmedizin, Köln 19, 25 (1968)
136. Rumball, C.A. und Acheson, E.D.: Electrocardiogram of healthy men after strenuous exercise. Brit. Heart J. 22, 415 (1960)

137. Rumball, C.A. und Acheson, E.D.: Latent coronary heart disease detected by electrocardiogram before and after exercise.
Brit. Med. J. 1, 423 (1963)
138. Samson, W.E. und Scher, A.M.: Mechanism of acute S-T-changes in experimental coronary occlusion.
Fed. Proc., Washington 18, 136 (1959)
139. Samson, W.E. und Scher, A.M.: Mechanism of S-T segment alteration during acute myocardial injury.
Circ. Res., 8, 780 (1960)
140. Sarawicz, B.: Relationship between electrocardiogram and electrolytes.
Amer. Heart J. 73, 814 (1967)
141. Schäfer, H.: Das Elektrokardiogramm.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1951
142. Scherf, D. und Schaffer, A.I.: Electrocardiographic exercise test.
Amer. Heart J. 43, 927 (1952)
143. Schimert, G., Schimmler, W., Schwalb, H. und Eberl, J.: Die Coronarerkrankungen.
In: Handb. Inn. Med., IX, 653 (1960)
Hrsg.: Bergmann, G.v. u. Heilmeyer, L.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
144. Schimert, G. und Simon, C.W.: Koronare Gefährdung in Affektsituationen.
Med. Klin. 61, 713 (1966)
145. Schmidt, F.L.: Vergleichende Untersuchungen zwischen elektrokardiographischen Routine- und Langzeitbeobachtungen.
Zschr. Kreisf.forsch., Darmstadt 54, 792 (1965)
146. Schmutzler, H.: Der scheinbar pathologische Herzbefund.
Dtsch.med.Wschr. 16, 792 (1968)
147. Schollmeyer, P.: Die Regelung der Koronardurchblutung.
Materia med. Nordmark 20, 182 (1968)
148. Schweizer, W., Bucher, R. und Widmer, L.U.: Über das Elektrokardiogramm während und nach körperlicher Arbeit (Basler Studie II).
Schweiz.med.Wschr. 97, 105 (1967)
149. Segall, H.N.: The principal patterns of cardiac pain related to arteriosclerotic coronary disease.
Canad.Med.Ass.J. 62, 341 (1950)

150. Sheffield, L.T.,
Holt, J.H. und
Reeves, T.J.:
Exercise graded by heart rate in
ECG testing for angina pectoris.
Circulation, New York 32, 622 (1965)
151. Sheffield, L.T.,
Lester, F.M. und
Reeves, T.J.:
Investigation of electrocardiographic
manifestations of angina pectoris
by multichannel recording.
Circulation, New York Suppl. III
33-34, 215 (1966)
152. Simonson, E.:
Use of the ECG in exercise test.
Amer. Heart J. 66, 552 (1963)
153. Sjöstrand, T.:
The relationship between the heart
frequency and the S-T level of the
electrocardiogram.
Acta med. Scand. 138, 201 (1950)
154. Smith, R.F. und
Wherry, R.J.:
Quantitative interpretation of the
exercise electrocardiogram. Use of
computer techniques in the cardiac
evaluation of aviation personnel.
Circulation, New York 34, 1044 (1966)
155. Solti, F.,
Iskum, M.,
Zoltan, E.T.,
Papp, M. und
Preisich, P.:
Untersuchungen der durch Nikotin ver-
ursachten EKG- und Kreislaufverände-
rungen bei Menschen.
Zschr. Kreisl.forsch., Darmstadt 53,
607 (1964)
156. Solvay, H. und
Denolin, H.:
L'electrocardiogramme d'effort.
Technique et interprétation.
Hopital universitaire Saint Pierre,
Bruxelles, 1967
157. Speckmann, K.,
Klensch, H.,
Maetzel, F.K. und
Meyer, J.D.:
Untersuchungen zur Frühdiagnose der
Angina pectoris.
Dtsch.med.Wschr. 92, 1493 (1967)
158. Strandell, T.:
Electrocardiographic findings at rest,
during and after exercise in healthy
old men compared with young men.
Acta med. Scand. 174, 479 (1963)
159. Suzmann, M.M.:
Diagnostic significance of posture,
hyperventilation, exercise and beta-
adrenergic blockade in the differenti-
ation of anxiety induced from ischemic
cardiac disorder.
Circulation, New York Suppl. III
33-34, 225 (1966)
160. Szegi, J. und
Haase, M.:
Untersuchungen zur Koronardurchblutung
und zum Herzstoffwechsel bei anstei-
gender Hypoxämie.
Dtsch.Gsd.wes., Berlin 20, 2303 (1965)

161. Takahashi, H.,
Iwatsuka, T.,
Ohashi, I. und
Hotta, S.:
Some observations of the ST depression
in the exercise electrocardiogram.
Jap. Heart J. 4, 105 (1963)
162. Tokor, Y.
Über einen Fall von Veränderungen des
ST-T-Abschnittes im Elektrokardiogramm
nach Nikotingenuß.
Med. Welt 8, 398 (1966)
163. Tschirdewahn, B.,
Kaltenbach, M. und
Klepzig, H.:
Eine dosierbare Stufenbelastung für
Arm- und Beinarbeit im Vergleich mit
dem Fahrradergometer.
Arch. Kreislaufforsch., Darmstadt 42,
45 (1963)
164. Wagman, R.J.,
Levins, H.J.,
Messer, J.V.,
Neill, W.A.,
Krasnow, N. und
Gorlin, R.:
Coronary insufficiency in man; physio-
logic and electrocardiographic corre-
lation.
Amer. J. Cardiol., New York 9, 439
(1962)
165. Wendkos, M.H.:
Electrocardiographic effects of ergot
alkaloids in anginal patients and in
subjects without demonstrable organic
heart disease.
Circulation, New York Suppl. III
33-34, 237 (1966)
166. Wendt, L.:
Die ST-Depression im EKG, ein Symptom
des anaeroben Herzstoffwechsels.
Arch. Kreislaufforsch., Darmstadt 8,
74 (1941)
167. Westura, E.E. und
Ronan, J.E.:
Rate of application of work as a de-
terminant of the ECG response to exer-
cise in stress testing of normal
subjects.
Circulation, New York Suppl. III
33-34, 238 (1966)
168. Witzleb, E.:
Nervöse Beeinflussung der Coronardurch-
blutung.
Bad Oeyenhauser Gespräche II,
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-
Heidelberg, 1958, S. 94
169. Yu, P.N.G.,
Bruce, R.A.,
Lovejoy, F.W. und
McDowell, M.E.:
Variations in ECG responses during
exercise.
Circulation, New York 3, 368 (1951)

170. Zapfe, H. und
Hatano, Y.: Veränderungen im EKG gesunder Er-
wachsener während des Tagesablaufes.
Zschr. Kreisl.forsch., Darmstadt
56, 411 (1967)
171. Zyrdra, J. und
Mellerowicz, H.: Ergometrie zur Funktionsdiagnostik des
Kreislaufs.
Zschr. ärztl. Fortbild., Berlin 53,
455 (1964)
172. Adam, J.: Einführung in die medizinische Statistik
VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin,
1966
173. Gorlin, R.,
Brachfeld, N.,
Messer, J.V. und
Turner, J.D.: Physiologic and biochemical aspects
of the disordered coronary circulation.
Ann. Int. Med., Lancaster 51, 698
(1959)
174. Roskamm, H.,
Samek, L.,
Kröner, I.,
Blümchen, G., und
Weidemann, H.: Vergleichende Untersuchungen zwischen
Belastungs-EKG und Hypoxie-EKG bei
Patienten mit Koronarinsuffizienz.
Verh.Dtsch.Ges.Kreisl.forsch. 34, 325
(1967)
175. Toyoshima, H.,
Prinzmetal, M.,
Ekmekeci, A. u. Mitarb.: Angina pectoris VII. The nature of
ST-depression in acute myocardial
ischemia.
Amer.J.Cardiol. 11, 498 (1964)
176. Westermann, K.-W.: Ergospirometrische und elektrokardio-
graphische Untersuchungen während Heil-
verfahren bei Koronarkranken.
Med.Klin. 63, 1025 (1968)
177. Neill, W.A.: Myocardial hypoxia and anaerobic meta-
bolism in coronary heart disease.
Amer.J.Cardiol., New York 22, 507
(1968)

Herrn Professor Dr.med. H. Mellerowicz für die
Überlassung der Arbeit und freundliche Beratung
meinen besten Dank.

Frau Kabisch meinen Dank für die nette Einweisung
in die Praxis der Elektrokardiographie.

Lebenslauf

- 29.8.1943 : Geboren in Marienburg/Westpr. als zweiter
Sohn des Wirtschaftsprüfers Dr. Wilhelm
Zerdick und seiner Ehefrau Ellen
- 1950-53 : Volksschule in Düsseldorf
- 1953-54 : Volksschule in Hamburg-Bergedorf
- 1954-57 : Gymnasium in Hamburg-Bergedorf
- 1957-61 : Gymnasium in Berlin-Dahlem
- 1961-63 : Gymnasium in Darmstadt
- März 1963 : Reifeprüfung am Ludwig-Georgs-Gymnasium
in Darmstadt
- 1963-64 : 12 Monate Grundwehrdienst in der Bundeswehr
- 1964-70 : Medizinstudium an der Freien Universität Berlin
- März 1965 : Vorphysikum
- Febr. 1967 : Physikum
- August 1970 : Medizinisches Staatsexamen an der Freien
Universität Berlin
- 1.9.1970 : 4 Monate Medizinalassistent an der
Sportärztlichen Hauptberatungsstelle Berlin

Table of Contents

1. Introduction	1
2. Theoretical Framework	10
3. Methodology	25
4. Results	45
5. Discussion	65
6. Conclusion	85
7. References	95
8. Appendix	110
9. Bibliography	125
10. Index	140
11. Glossary	155
12. Summary	170
13. Acknowledgements	185
14. Declaration	200
15. Certificate	215
16. Curriculum Vitae	230
17. List of Figures	245
18. List of Tables	260
19. List of Abbreviations	275
20. List of Symbols	290
21. List of Equations	305
22. List of References	320
23. List of Bibliography	335
24. List of Index	350
25. List of Glossary	365
26. List of Summary	380
27. List of Acknowledgements	395
28. List of Declaration	410
29. List of Certificate	425
30. List of Curriculum Vitae	440
31. List of List of Figures	455
32. List of List of Tables	470
33. List of List of Abbreviations	485
34. List of List of Symbols	500
35. List of List of Equations	515
36. List of List of References	530
37. List of List of Bibliography	545
38. List of List of Index	560
39. List of List of Glossary	575
40. List of List of Summary	590
41. List of List of Acknowledgements	605
42. List of List of Declaration	620
43. List of List of Certificate	635
44. List of List of Curriculum Vitae	650
45. List of List of List of Figures	665
46. List of List of List of Tables	680
47. List of List of List of Abbreviations	695
48. List of List of List of Symbols	710
49. List of List of List of Equations	725
50. List of List of List of References	740
51. List of List of List of Bibliography	755
52. List of List of List of Index	770
53. List of List of List of Glossary	785
54. List of List of List of Summary	800
55. List of List of List of Acknowledgements	815
56. List of List of List of Declaration	830
57. List of List of List of Certificate	845
58. List of List of List of Curriculum Vitae	860
59. List of List of List of List of Figures	875
60. List of List of List of List of Tables	890
61. List of List of List of List of Abbreviations	905
62. List of List of List of List of Symbols	920
63. List of List of List of List of Equations	935
64. List of List of List of List of References	950
65. List of List of List of List of Bibliography	965
66. List of List of List of List of Index	980
67. List of List of List of List of Glossary	995
68. List of List of List of List of Summary	1010
69. List of List of List of List of Acknowledgements	1025
70. List of List of List of List of Declaration	1040
71. List of List of List of List of Certificate	1055
72. List of List of List of List of Curriculum Vitae	1070
73. List of List of List of List of List of Figures	1085
74. List of List of List of List of List of Tables	1100
75. List of List of List of List of List of Abbreviations	1115
76. List of List of List of List of List of Symbols	1130
77. List of List of List of List of List of Equations	1145
78. List of List of List of List of List of References	1160
79. List of List of List of List of List of Bibliography	1175
80. List of List of List of List of List of Index	1190
81. List of List of List of List of List of Glossary	1205
82. List of List of List of List of List of Summary	1220
83. List of List of List of List of List of Acknowledgements	1235
84. List of List of List of List of List of Declaration	1250
85. List of List of List of List of List of Certificate	1265
86. List of List of List of List of List of Curriculum Vitae	1280
87. List of List of List of List of List of List of Figures	1295
88. List of List of List of List of List of List of Tables	1310
89. List of List of List of List of List of List of Abbreviations	1325
90. List of List of List of List of List of List of Symbols	1340
91. List of List of List of List of List of List of Equations	1355
92. List of List of List of List of List of List of References	1370
93. List of List of List of List of List of List of Bibliography	1385
94. List of List of List of List of List of List of Index	1400
95. List of List of List of List of List of List of Glossary	1415
96. List of List of List of List of List of List of Summary	1430
97. List of List of List of List of List of List of Acknowledgements	1445
98. List of List of List of List of List of List of Declaration	1460
99. List of List of List of List of List of List of Certificate	1475
100. List of List of List of List of List of List of Curriculum Vitae	1490

